

油藏有机地球化学描述

——以塔里木盆地塔中四号构造石炭系储层为例

刘逸 王占生 王培荣 林壬子

(江汉石油学院,湖北荆沙市 434102)

提要 运用棒色谱 TLC-FID和油显示仪 OSA对塔中四号构造 TZ4、TZ402及 TZ401井石炭系岩芯进行密集采样分析(约 3个/m),并选择典型原油进行 GC/GC/MS和碳同位素分析。研究表明,石炭系储层油族组成在横向和纵向上都存在明显的非均质性;纵向上可分为三段: C_{111} (油层段); C_{112} 、 C_{113} (油水同层段), C_{112} 、 C_{113} 中局部含油率较高的层段可能有试油价值。推测原始油藏可能受喜山阶段的构造运动破坏, C_{111} 油气发生过自西向东的再分配, C_{112} 油气则沿断层向上溢出,形成现今具两期古油水界面的油水系统格局。据横向上存在的成熟度差异,推测来自下古生界的主力油源注入方向可能是由北西向南东;但色谱和碳同位素等资料反映 TZ401井所在 1号高点可能有另一次要的源自上古生界的原油混入。

关键词 储层地球化学 油藏有机地化描述 注入史

分类号 P 618.130.2

第一作者简介 刘逸 女 28岁 硕士 有机地球化学

近几年来,随着石油工业的重点从油气勘探转向油气开发,石油地球化学家们研究的焦点也随之转移到油气开采及与油藏有关的问题^[1]，“储层地球化学”因此应运而生。有机地球化学家很久以来就认识到油藏内石油化学成分在大范围上存在非均质性^[2,3],但直到 England等^[4]才成功地将此认识应用于油藏注入史研究,使“储层地球化学”成为石油地球化学的前缘学科。

England等^[4]提出:油气藏内石油组成的参数(如生物标志物成熟度参数,气油比等)之所以存在差异,是因为油气“继承”了源岩相及其成熟度的差异,源岩后期生成的成熟度较高的原油注入储层后总要置换早期生成的成熟度较低的原油,因此成熟度较高的石油离烃源岩最近。该认识已被许多地球化学家成功地应用于不同地区的研究: England等^[5]利用气油比的变化确定了 Fortier油田的大致注入方向; Horstad等^[6]和 Larter等^[7]使用常规的生物标志物成熟度参数存在的梯度研究 Gullfaks油田的注入史。在塔里木盆地选择塔中四号构造石炭系油藏进行有机地球化学描述在我国尚属首次。

1 实验及选择的参数

从塔中 4(TZ4)、402(TZ402)、401(TZ401)井石炭系储层采集岩芯样共 876块,取样密度约为 3个/m。运用快速、经济而又准确的 TLC-FID棒色谱技术^[8,9]及 OSA热解技术对样品进行分析,研究样品的含油率和储层油性性质,对油藏

进行有机地球化学描述。

文中储层油是指各深度点油砂的有机溶剂(二氯甲烷:甲醇=93:7)抽提物。

含油率是判断油气层的重要指标,描述的参数有两个,其中 T值用 TLC-FID仪测定,代表样品抽提物总量的绝对值,单位 $mg_{\text{烃}}/g_{\text{岩}}$; PG值用 OSA仪测定,单位 $K_{\text{烃}}/T_{\text{岩}}$ 。描述储层油性性质的参数共 5个,用 TLC-FID仪测定储层的油族组成,即饱和烃(Sat)、芳烃(Ar)和极性组分(Pol)的百分含量,每克岩样中所含极性组分的绝对量用 P_{ow} 代表,单位 $mg_{\text{烃}}/g_{\text{岩}}$ 。D值^①用 OSA仪分析计算而得,与储层油比重正相关。

2 地质背景

塔里木盆地位于新疆南部,是经过长期演化形成的复合型含油气盆地。塔中四号构造位于中央隆起带塔中一号构造隆起上,呈北西西方向展布(如图 1)。钻探表明塔中四号构造石炭系属浅海平原相,是塔中地区的主要含油气层,从上而下分为 G_1 、 G_2 、 G_3 三套含油气储集层^①。 G_1 油组(即东河砂岩)为塔中地区油气勘探的主要目的层,亦是本文讨论的对象。TZ4、TZ402井位于构造北西的 2号高点, TZ401井位于南东的 1号高点。

3 C_{111} 油组有机地球化学描述

对 TZ4、TZ401及 TZ402井分别作了密集采样分析。

① 引自苏秀芳,方孝林. Rock-Eval-III有显示仪应用与野外取样和试油方法.塔指江汉地化站,1989.
收稿日期:1996-09-12

TLC-FID和 OSA分析表明油组中储层油族组成不仅纵向上存在明显的非均质性,而且横向上也有明显的变化。

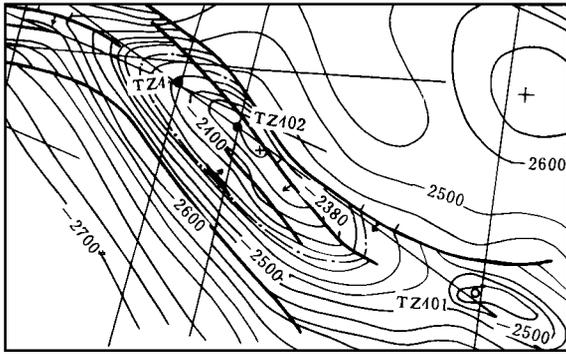


图 1 塔中四号构造位置示意图
引自“塔里木盆地 1993年勘探部署图集”
Fig. 1 Location of the TZ4 structure

3.1 纵向分布特征

根据储层油含油率和族组成分布,将 G_{II} 油组分成三段, G_{II1} 为油层段, G_{II2} , G_{II3} 均为油水同层段,在本段内 3 678.18 ~ 3 680.33 m为沥青质砂岩,以此为界将油水同层段分为上、下两段。以 TZ4井为例对各段进行有机地球化学描述。TZ4井 G_{II} 油组各段的分析结果见表 1和图 2表 1和图 2表明, TZ4井 G_{II} 油组含油率和族组成在纵向上有明显的变化。从上至下, St MDA/TA(单、双环芳烃/总芳烃)逐渐降低, D 和 Pow 呈明显增加趋势, Ar 和 Pol 变化趋势则相反。纵向上 G_{II1} 段 T 和 PG 低于 G_{II2} 和 G_{II3} 段,上述分布特征反映了三点有价值的信息。

3.1.1 确定油层、油水同层以及水层分界

从图 2的含油率和 Pow 分布看,井深 3 720.3m处 T PG 和 Pow 值骤减,结合测井和试油资料判断 3 720 m处为 TZ4井油水同层和水层的界面深度。

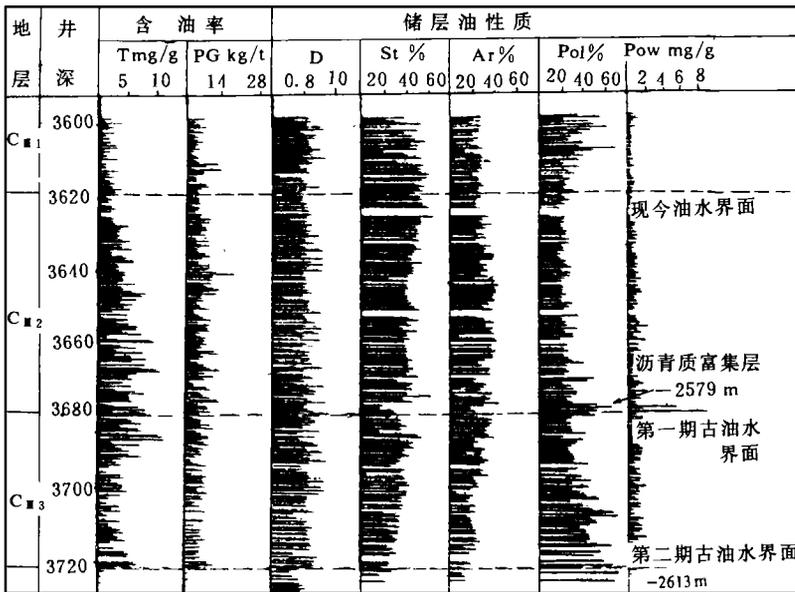


图 2 TZ4井 G_{II} 油组含油率及族组成分布图
Fig. 2 Distribution of oil contents and gross compositions of the G_{II} group of the TZ4 well

表 1 TZ4井 G_{II} 油组储层油各段含油率及族组成分布

Table 1 Distribution of oil contents and gross compositions of the G_{II} group of the TZ4 well

层位	井段 (m)	含油率		储油层性质					
		T(mg/g)	PG(kg/T)	D	St(%)	Ar(%)	Pol(%)	Pow(mg/g)	MDA/TA
G_{II1}	3 597.0~ 3 618.0	1.35	3.17	0.82	43.9	24.3	31.8	0.37	0.39
G_{II2}	3 618.0~ 3 680.3	4.05	7.05	0.84	43.5	31.9	24.8	0.96	0.35
G_{II3}	3 680.3~ 3 720.3	3.67	5.89	0.87	35.9	25.8	38.3	1.30	0.32

① 引自陈永武 (1992)塔里木盆地塔中四号构造油气藏描述与评价 北京石油勘探开发科学研究院

G_{II} 段 3 597.0~ 3 618.0 m S_k MDA/TA较高, D和 P_{ow} 较低, 储层油性质较好。该段岩性复杂且极不均匀, 含油率和储层油性质随之变化, 泥质含量高物性差的样品含油率低。在 3 618.0 m上、下 T和 P有微小变化, 电性特征在此亦有变化, 试油证实 3 618 m以上为油层, 以下为油水同层。因此认为 3618 m为 TZ4井油层和油水同层的大致界面深度。

3 618~ 2 720 m为油水同层段, 本段内以沥青质富集层为界分为上、下两段(图 2)。上段(G_{II2})储层油性质变化较小, 随深度增加 S_k 略呈下降趋势, A_r 则先上升后下降, P_{ol} 略呈上升趋势。下段(G_{II3})含油率比 G_{II2} 低, 储层油性质变化较大, 随深度增加 S_k 和 A_r 均降低, P_{ol} 明显升高。

对比油层和油水同层段的含油率发现前者的 T和 PG值明显小于后者。此异常是由于 TZ4井岩芯存放时间超过二年轻烃的挥发损失量很大, 而油水同层段经长期水淹后残存油的轻烃含量较油层段低, 所以测定时油水同层段样品的损失系数远比油层段低。后来测定的 TZ411井(样品存放约 3个月)其油层段的 T和 PG值明显高于油水同层段, 即是一个证明。

3.1.2 预测油水同层段内残存油的饱和度

TZ402井油水同层段内 3 691.0~ 3 699.4 m处 PG和 T分别为 11.1 $k_{g\%}/T_{\%}$ 和 6.2 $m_{g\%}/g_{\%}$, 3 701.55~ 3 701.763 m处, PG和 T分别为 13.3 $k_{g\%}/T_{\%}$ 和 9.2 $m_{g\%}/g_{\%}$, 试油证实均为高产油层。TZ4井油水同层段的含油率在纵向上也是有变化的(图 2) 如井段 3 639.5~ 3 647.4 m, PG平均 10.5 $k_{g\%}/T_{\%}$, T平均 5.0 $m_{g\%}/g_{\%}$ 为含油率较高的层段, 它位于渗透性差的薄层泥岩之间的油砂层中, 该段有试油价值。

3.1.3 推测油藏遭受破坏的大致时间

England等提出在单个石油柱内, 就地时期而言, 在纵向上扩散混合是最容易完成的, 在 100 m深度内当渗透率大于 1 mD时所需时间不到 100万年(图 3)。TZ4井 120 m厚

显的非均质性, 为此推测发生在 50百万年至现今的喜山阶段的构造运动对 G_{II} 油组产生了破坏作用, 并发生油气再分配, 其过程将通过横向对比作进一步研究。

3.2 横向上的分布特征

对比三井 G_{II} 油层段储层油性质(见表 2), 自北西向东南 S_k 和 A_r 呈下降趋势, 而 P_{ol} 则有增加。此外, 位于北西的 TZ4 TZ402井的 MDA/TA较高, 达 0.39, 位于南东的 TZ401井平均仅 0.30。受样品存放时间影响相对较小的 P_{ow} , 由北西向南东明显增加。由此可见北西方向的轻组分含量明显高于南东方向, 推测原油成熟度有可能是北西高于南东。

表 2 G_{II} 油层段的储层油性质

Table 2 Qualities of the residual oil of the G_{II} group

井号	储油层性质					
	D	S_k	A_r	P_{ol}	P_{ow}	MDA/TA
TZ4	0.82	43.9	24.3	31.8	0.37	0.39
TZ402	0.81	49.0	26.9	24.1	0.57	0.39
TZ401	0.82	43.8	21.6	34.5	0.69	0.30

TZ4井 G_{II} 油组油水同层段内 3 678.15~ 3 680.3 m处发现沥青质富集层, 其下海拔 - 2 573.84~ - 2 579.1 m有一非烃、芳烃含量较高的稠油层(如图 2), TZ402井海拔 - 2 575.29~ - 2 577.69 m处亦有一非烃含量较高的稠油层, 与 1号高点 TZ401井的油层和油水同层的界面 - 2 581.17 m很接近, 三者几乎在同一水平面上, 据此推测在 - 2 579 m附近可能存在一个古油水界面。此外, TZ4井海拔 - 2 613 m处是油水同层段和水层的界面, 和 TZ401井油水同层段和水层的界面(海拔 - 2 610 m左右)也几乎在同一水平面上, 其上均有非烃含量较高的沥青质富集层及稠油层, 因此推测海拔 - 2 610 m处可能为另一古油水界面(图 2.4)。

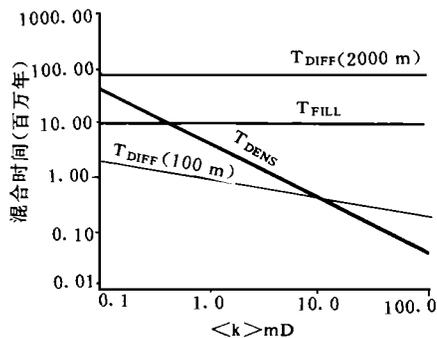


图 3 单一油藏中储层混合时间的估算值

Fig. 3 Evaluation of mixing within an individual reservoir

的 G_{II} 层段尤其是 G_{II2} 和 G_{II3} 段, 孔、渗性很好, 孔隙度平均 > 15%, 渗透率平均 > 140 mD, 但纵向上族组分分布具有明

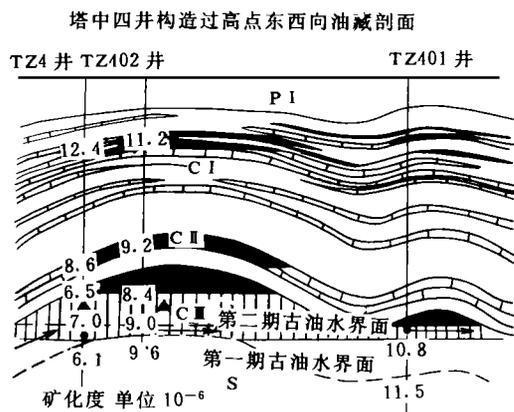


图 4 塔中四号构造剖面示意图

Fig. 4 Profile sketch of the TZ4 structure

TZ4 TZ402和 TZ401井第二期古油水界面(-2 579 m)以上部分(即 G_{II2})位于现今 1号高点鞍部溢出点之上,而两期古油水界面之间部分(-2 579~2 613 m)(即 G_{II3} 与 S-C不整合面毗邻(图 4)。按 G_{II2} 、 G_{II3} 作横向对比发现有很明显的区别(图 5),TZ4 TZ402井 G_{II2} 层段的分析数据平均值

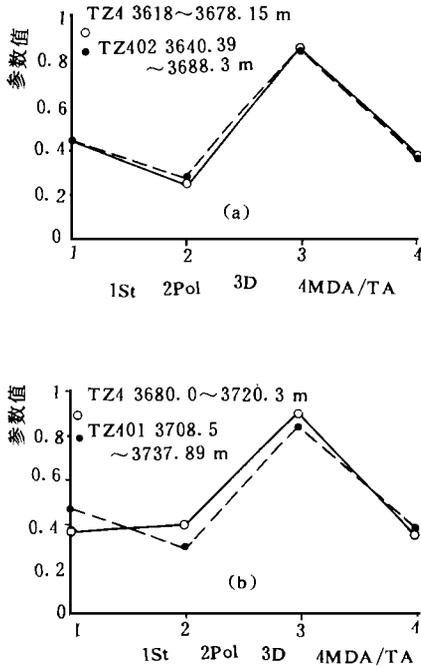


图 5 TZ4 TZ402和 TZ401井油水同层 G_{II2} 、 G_{II3} 段族组成对比图

Fig. 5 Contrast of gross compositions of the G_{II2} 、 G_{II3} oil-water layers of the TZ4, TZ402 and TZ401 well

如图 5a所示,由图可见两井 G_{II2} 横向间储层油的 D St MD/TA及 Pol平均值相差很小。而两期古油水界面之间的油水同层段 G_{II3} (图 5b)从西至东(TZ4~TZ401)D值和 Pol下降,St增加 10个百分点,MDA/TA由 0.33上升为 0.36(无 TZ402井第二期古油水界面之下的分析资料)。这两段的平均孔隙度相近,均在 15%左右,平均渗透率均大于 100 mD。此外引人注目的是 TZ401井油水同层段的 MDA/TA值平均为 0.36 St为 45.8%,比其上方油层段的 MDA/TA值(0.30)、St(43.8%)还高或相近,这无法用垂向运移来解释,因此推测在两期古油水界面之间可能存在一个由西向东向的原油侧向运移过程, G_{II2} 油组油田水矿化度西低东高(图 4)是有力的旁证之一。TZ401井南东方向的 TZ411井以及 TZ6 TZ1井的分析资料也支持上述推测。

综上所述,结合地质情况推测原始油藏可能遭受构造运动的破坏使构造闭合高度变小,部分原油沿北西向东南方向运移,油水界面随之向上抬升,形成第二期古油水界面,之后再次受构造运动影响,原油沿断层向上溢出,形成现今的油

水系统格局。

3.3 G_{II} 油组油层注入方向研究

G_{II} 油组的原油比重(20°C时)多数在 0.81~0.87的正常范围,但位于南东的 TZ401井原油比重却高达 0.9024;TZ4和 TZ402井原油含硫量多数低于 0.5%,但 TZ401井却为 0.63%,北西方向 TZ4和 TZ402井原油的比重、含硫量低于南东的 TZ401,与前文所述的族组成反映原油成熟度北西高南东低的观点一致。

对原油样品进行 GC/MS分析,发现三口井原油样的生物标志物成熟度参数存在一定差异,TZ401井原油 C_{29} 甾烷 20S/(20S+20R)及 T_s/T_m 值均比位于北西向的 TZ402井与 TZ4井原油略低(表 3),这进一步说明油层段的原油成熟度在横向上北西高南东低,因此推测其主力油源可能位于该构造的北西方向。

表 3 生物标志物成熟度参数值

Table 3 Parameters of maturity biomarkers

井号	C_{29} 甾烷 20S/(20S+20R)	T_s/T_m
TZ4	0.70	0.80
TZ402	0.49	0.89
TZ401	0.48	0.59

* 因有一未知物 9基峰(m/e135)的影响,该值偏高

但位于南东的 TZ401井原油的稳定碳同位素 $\delta^{13}C$ 值(-31.46‰)比位于北西的 TZ4和 TZ402井重(-33.45‰)。一般来说,原油的稳定碳同位素组成随成熟度增高而富集 ^{13}C 。如果塔中四号构造的油源是单一的,成熟度是北西高南东低,则 $\delta^{13}C$ 值应北西高于南东,而实际情况却正好相反,此外 TZ401井 G_{II} 油层原油轻烃中苯和六元环烷烃的相对含量较高,正庚烷相对含量较低,测得的参数值竟和 YM7井上古生界湖相原油相似^{①②},令人感到意外,如果设想在 1号高点处有另一个次要的碳同位素较重且成熟度比下古生界油源低的上古生界油源混入,则上述矛盾就可得到较合理的解释。

4 结论

1) TZ4井 G_{II} 油组的 TLC-FID和 OSA分析结果表明其储层油族组成在纵向上和横向上均存在明显的非均质性,油水同层段内残存的油气富集层有试油价值。

2) 油藏在喜山阶段可能遭受过破坏,推测 G_{II} 油组有两期古油水界面,两期古油水界面之间即 G_{II3} 段可能曾经发生过由北西向南东的油气再分配过程, G_{II2} 层段油气则可能沿断层向上溢出。

① 引自王培荣等(1993)轮南 46井奥陶、石炭、三叠系储层原油的组成研究对比,江汉石油学院分析测试研究中心。

② 黄第藩等(1993)塔里木盆地古生界烃源岩的地球化学研究,石油勘探开发科学研究地质院地质所。

3) 塔中四号构造 C_{II} 油组原油的成熟度北西高南东低, 推测油源的主要注入方向可能是由北西向南东, 但在 1 号高点可能有另一次要的成熟度相对较低, 碳同位素相对较重的上古生界油源注入。

由于所分析的三口井几乎处于一条直线上, 由此作出的推断可能在一定误差, 但其结论对勘探仍有一定的参考价值。

致谢: 本课题得到塔指研究大队的资助, 梁狄刚总地质师、苟光汉教授、汪道源高工给予大力支持, 在此一并表示衷心感谢!

参 考 文 献

[1] Larter S R and Aplin, A C Reservoir geochemistry: methods, application and opportunities. The geochemistry of Reservoirs. Geological Society Special Publication. 1995, 86 5~ 52.

[2] Schulte A M Compositional variations within a hydrocarbon due to gravity. Society of Petroleum Engineers. 1980, 9225.

[3] Hirschberg A The role of asphaltenes in compositional grading of a reservoir fluid column. Society of Petroleum Engineers. 1984, 13171.

[4] England W A, Mackenzie, A S and Mann D M et al, The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface. Journal of the Geological Society London, 1987, 144 327 ~ 347.

[5] England W A and Mackenzie A S, Geochemistry of petroleum reservoirs. Geologische Rundschau, 1989, 78 291~ 303.

[6] Horstad, I, Larter, S R and Drpvik, H. et al, Degradation and maturity control on oil field petroleum column heterogeneity in the Gullfaks field, Norwegian North Sea. Organic Geochemistry, 1990, 16(1- 3): 497~ 510.

[7] Larter S R and Horstad I. Migration of petroleum into Brent Group reservoirs—some observations from the Gullfaks Field, Tampen Spur Area North Sea. Geology of the Brent Group. Geological Society, London, Special Publication, 1992, 6E 441 ~ 452.

[8] Karsen D A and Later, S R Analysis of petroleum fraction by TLC-FID applications to petroleum reservoir description. Organic Geochemistry 1991, 17 603~ 617.

[9] 王占生, 孙玮琳, 汪双清等. 原油组分 TLC-FID 棒色谱分析及初步应用. 石油与天然气地质, 1995, 16(3): 222~ 226.

Reservoir Organic Geochemical Description

—— An Example from Carboniferous Reservoirs on the Tazhong 4 Structure in the Tarim Basin

Liu Yi Wang Zhansheng Wang Peirong and Lin Renzi

(Jiangnan Petroleum Institute, Hubei Jingsha 434102)

Abstract

Using the thin layer chromatography /flame ionization detector (TLC-FID) coupled with the oil show analyzer (OSA), the Carboniferous cores from three wells on the Tazhong 4 structure were densely collected and analysed (about 3/m), while typical oil samples selected were analysed by GC/MS and carbon isotope analysis. The study indicated that the gross composition of residual oils exists an obvious heterogeneities either vertically or laterally. The C_{II} group can be divided into three layers C_{II1} (oil layer), C_{II2} , C_{II3} (oil-water layers). It was considered that local layers with high oil saturation within C_{II2} , C_{II3} are of value to test oil and that the primary petroleum reservoir could be destroyed by the Himalayan movement and petroleum of C_{II3} was redistributed again from west to east. then the petroleum of C_{II2} flowed out along the fault and the oil-water system which has two palaeo-oil-water contacts was formed. According to the lateral maturity variation, it was considered that the filling direction of the main oil source from the Lower Palaeozoic is tentatively from west-north to east-south. But data of chromatographic analysis and the value of carbon isotopes of oils suggested that another type of oil from a subsidiary source in the Upper Palaeozoic fill in the structural high 1 on the TZ4 structure.

Key Words reservoir geochemistry reservoir description of organic geochemistry filling history