

文章编号 :1000-0550(2000)02-0324-03

不同采出程度下石油组分变化特征^①

刘晓艳¹ 李宜强¹ 冯子辉² 李景坤² 郭树岐¹

1(大庆石油学院 黑龙江安达 151400) 2(大庆油田研究院 黑龙江大庆 163000)

摘要 利用 GHM 烃分析仪对水驱模拟实验过程中不同阶段的采出原油进行分析,研究其原油组成的变化规律,探索原油组成与采出程度之间的内在关系。实验表明:原油的采出程度与采出流体 PV 数之间具有良好的对应关系;随着采出程度逐渐提高,原油中正构烷烃的碳数范围及主峰碳数逐渐后移,原油的轻/重比值呈现降低趋势。实验还证明,某些在空间上呈圆柱型、具有规则支链的分子比相近碳数的直链分子更容易被驱出。该项研究对于从微观角度深入探索驱油机理、提高原油采收率具有实际意义。

关键词 采油 水驱 模拟实验 含油饱和度 烃分析 原油组成

第一作者简介 刘晓艳 女 1962 年出生 硕士 副教授 油气地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

1 引言

在室内水驱油物理模拟实验中,通常借助于物理模型,通过含水率、产油量以及采收率等指标来研究流体的渗流规律^[1-4],而对产出油的内部组分变化特征分析研究得却很少。但从理论上讲,地质条件下岩层中的某些原油之所以能被采出以及某些原油不能被采出,除与岩层的孔隙度、渗透率等物性参数有关外,还应该与原油本身的内部组成和化学性质有关。

本文主要利用挪威进口 GHM 烃分析仪,采用热蒸发-气相色谱方法,对水驱模拟实验过程中不同阶段的采出原油进行分析,研究其原油组成的变化规律,探索原油组成与采出程度之间的内在关系。这对深入研究驱油机理、提高原油采收率具有实际意义。

2 实验样品及其 GHM 分析

实验样品为水驱油岩芯模拟实验中采出的原油,该实验是模拟实际地层的地质条件进行的。实验用岩芯为接长至 52 cm、直径为 2.5 cm 的圆柱体天然岩芯,将其在 600 °C 条件下灼烧 1 小时以驱除其中所含的有机质,然后测得其平均渗透率为 0.665 μm^2 ;实验用水为大庆油田采油二厂注入水;实验用油为大庆采油二厂的采出原油;实验温度为实际地层温度(45 °C)。水驱油模拟实验具体过程如下:首先,将岩芯抽空,饱和地层水,测定孔隙度,然后注入油,将岩芯中的地层水驱出,直到岩芯被原油所饱和(相当于地下的储集岩)驱替至岩芯出口不出水为止,测定岩芯的原始

含油饱和度;再用水来驱油,直至岩芯含水饱和度达 98% 以上为止。实验过程中使用上海沪西仪器厂制造的 BS-100A 自动组分收集器,每隔 20 分钟取样一次,计量产油量和产水量,从而得到驱油过程中不同采出程度下产出的油样。

GHM 烃分析仪主要由 GHM 主机、GHM 控温器、GC 分离系统、数据采集器和计算机自动处理系统五部分组成。GHM 分析的主要步骤如下:准确称取约 0.2~0.6 mg 的实验样品于小样品杯中,并放置在样品架上,调好热解及 GC 分离程序后进样。首先在 200 °C 恒温 1 分钟,然后以 25 °C/分的升温速率升到 300 °C,并恒温 3 分钟。热解析烃类被带入定量检测器和定性检测器(分流比 30:1)进行检测(热解过程中色谱柱被液氮冷冻),从而得到实验样品的定量、定性分析谱图。

3 实验结果与讨论

实验过程中,原油的采出程度与采出流体占岩芯中所含总流体的分数(PV 数)之间具有良好的对应关系。根据分析谱图中定量分析峰的峰面积及装样量,可以计算出样品中 300 °C 条件下可蒸发烃(主要为分子量较低、极性较小的烃类化合物)含量随不同采出程度下 PV 数的变化特征(图 1)。可见,油样中可蒸发烃量随 PV 数的变化具有较好的规律性,即随采出程度逐渐增加,驱出油中可蒸发烃量亦逐渐增加,当采出流体 PV 数为 1.3 左右时达到高峰,之后可蒸发烃量又逐渐降低。

^①国家“九五”重点科技攻关(编号 9510901)项目资助

收稿日期:1999-02-15 收修改稿日期:2000-02-14

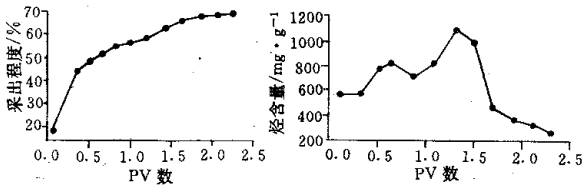


图 1 原油采出程度及烃含量与 PV 数的关系

Fig. 1 Relationship between oil production degree or hydrocarbon content and PV number

通过实验可得到驱油过程中石油组成的变化情况。不同采出程度下原油的组分特征比较复杂,根据谱图中的姥鲨烷和植烷等特征标志化合物,定性地分析石油组成,得出原油中的正构烷烃的碳数范围主要在 $nC_{10} \sim nC_{35}$ 之间,并且随采出程度逐渐提高,原油中正构烷烃的碳数范围逐渐后移,从 $nC_{10} \sim nC_{31}$ 转化为 $nC_{12} \sim nC_{35}$;石油组分中法呢烷、降姥鲨烷、姥鲨烯、萘、蒽、菲系列化合物等均有发现。不同采出程度下油样正构烷烃分布特征如图 2 所示。

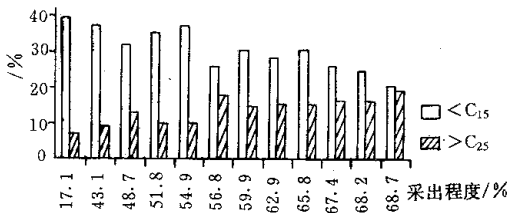


图 2 不同采出程度下原油样品正构烷烃分布特征

Fig. 2 Distribution of normal alkanes in crude oils under different production degrees

从图中看到,当采出程度逐渐增大时,采出的原油组分发生规律性变化,其总的趋势是,采出油中的 $>C_{25}$ 组分逐渐增加,而 $<C_{15}$ 组分逐渐减少。由于初始状态岩石含油量高(含油饱和度达 64%),轻组分由于粘度、比重小而易于驱出的同时,带出了一部分重质组分;随着采出程度的提高,岩芯中轻质组分的含量减少,因此采出原油中轻质组分逐渐减少、重质组分相对增加,随着驱油过程的不断进行,岩芯含油饱和度降低,又由于岩石中极性分子的存在,使其表面具有一定的吸附能力,它与极性较强的重质组分之间的吸附程度高,且重质组分的粘度、比重大,故难以驱出,所以最后出现了轻质和重质组分都驱不出现象。

油样中某些特征组分峰的峰面积比值随驱油过程中 PV 数变化曲线见图 3 所示。可以看出,石油组分随 PV 数的变化结果具有一定的规律性。Pr/Ph、 iC_{16}/iC_{17} 、 nC_{21}^-/nC_{22}^+ 、 nC_{14}^-/nC_{15}^+ 、Pr/ nC_{17} 、Ph/ nC_{18} (这里的 iC_{16} 、 iC_{17} 为异戊二烯型烷烃)等指标随采出

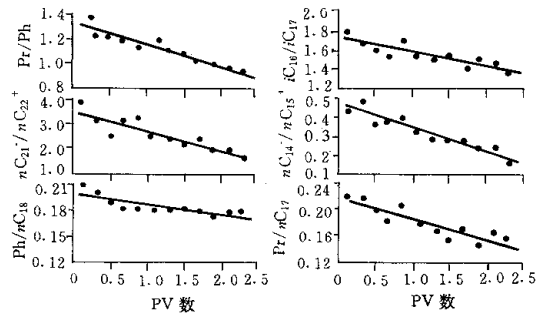


图 3 不同采出程度下原油样品中特征指标比值的变化

Fig. 3 The change of characteristic index ratios in crude oils under different production degrees

程度提高均呈下降趋势。由于 Pr 与 Ph、 iC_{16} 与 iC_{17} 的结构特征相似,都是异戊二烯单元头尾相连而构成的异构烷烃,因此在原油驱替过程中,低碳数的低分子量烷烃首先被驱出,而高碳数的高分子量烷烃较难被驱出。还有 nC_{21}^- 与 nC_{22}^+ 、 nC_{14}^- 与 nC_{15}^+ 都属正构烷烃,它们具有相似的结构类型,因此也是较轻的烷烃先被驱出,随采出程度增加,轻烃/重烃比值变小。而 Pr 与 nC_{17} 、Ph 与 nC_{18} 结构不同,分子中相差 2 个 $-CH_2$ 基团,且 Pr、Ph 带有规则的侧链, nC_{17} 、 nC_{18} 是直链的,因此按照常规的理论分析,正构烷烃应早于异构烷烃首先被驱出,但图 3 中显示的实验分析结果却恰恰相反。这可能应该从另一个方面做出解释,正是因为 Pr、Ph 带有规则的 4 个侧链,为了使分子中原子之间的相互排斥力达到最小,在空间以最稳定的构型存在,这四个侧链的空间指向使彼此之间相距最远,从而使 Pr、Ph 形似圆柱体,其分子横截面比 nC_{17} 、 nC_{18} 要大一些,它们在运移过程中更容易沿着大孔隙排出,而不容易钻进小孔隙或死孔隙中,因而使 Pr、Ph 比 nC_{17} 、 nC_{18} 更容易被驱出。另外,先驱出的油样中 $nC_{10} \sim nC_{14}$ 等轻质组分较多,随着采出程度的提高,采出油样中的轻组分逐渐减少,而 $nC_{30} \sim nC_{35}$ 等重质组分逐渐增多。这主要是因为轻质组分的分子量低、粘度小、极性低,岩石对其吸附作用小,容易流动、易被驱出。相反重质组分的比重大、粘度高,与岩石之间的吸附作用大,不易流动、难以被驱出。因此后来采出油样的组分中轻组分越来越少,而有重组分增加的趋势。

综上所述,通过该项实验研究,不仅可以从宏观上研究驱油特征,更重要的是从微观分子角度深入地探索驱油机理。第一,原油的采出程度与采出流体 PV 数之间具有良好的对应关系,而且随采出 PV 数增加,采出原油中的可蒸发烃量逐渐增加,达到高值后又逐渐降低;第二,随采出程度逐渐提高,原油中正构烷

烃的碳数范围逐渐后移,且主峰碳数亦逐渐后移;第三,原油中的轻质组分比重质组分易于被驱出,随采出程度增加,原油轻/重比值降低;第四,由于 P_r 、 P_h 更容易沿大孔隙排出,因而使 P_r 、 P_h 比 nC_{17} 、 nC_{18} 更容易被驱出。该项研究分析了驱油过程中原油组成的变化规律,从微观角度探讨了驱油机理,对人们更好地认识驱油过程、提高原油采收率具有实际意义,而且随着研究的深入,还可利用原油中特征分子标志物的变化规律确定地质条件下岩层的含油饱和度,并进而对剩余油分布作出预测。

参 考 文 献

- 1 中国石油天然气总公司科技发展局、开发生产局编. 改善高含水期油田注水开发效果实例 [M]. 北京:石油工业出版社,1993
- 2 Waston R E. Model studies on the inverted ninespot injection pattern [J]. JPT, 1964, 16: 801-804
- 3 Geertsma J. Theory of dimensionally scaled models of petroleum reservoirs [C]. Trans AIME Petrol, 1956. 206
- 4 Van Meurs p. The use of transparent three-dimensional models for studying the mechanism of flow processes in oil reservoirs [C]. Trans AIME Petrol, 1957. 301

The Change of Crude Oil Components under Different Production Degrees

LIU Xiao-yan¹ LI Yi-qiang¹ FENG Zi-hui² LI Jin-Kun² GUO Shu-qi¹

1 (Daqing Petroleum Institute, Anda Heilongjiang 151400)

2 (Research Institute of Daqing Petroleum Daqing Heilongjiang 163000)

Abstract

Production crude oils are analyzed by geofina hydrocarbon meter (GHM). The oils come from different stages in the process of water expelling simulation experiment. In addition, the change rule of crude oil components is studied, and the internal relations between crude oil components and production degrees are also researched. The experiments indicate that a regular connection is formed between production degree of crude oil and the PV number of fluid. The carbon number range or the peak carbon number of normal alkanes in crude oils shift behind and the light/heavy hydrocarbons ratio exists decreasing direction along with the increase of production degree. The another conclusion is proved by experiment that some isoprenoid alkane molecules are easier to expel from reservoir than the normal alkane molecules of close carbon number because of their column structure in space. Therefore, this investigation has practice significance in researching expelled mechanics from microcosmic points of view and increasing production ratio of crude oils.

Key words production water expelling simulation experiment oil saturated degree hydrocarbon analysis crude oil composition