

文章编号: 1001-6112(2011)02-0202-04

# 棒状薄层色谱法(TLC-FID)预测储层稠油粘度

汪双清, 孙玮琳, 沈斌, 王蕾

(国家地质实验测试中心, 北京 100037)

**摘要:**介绍了一种利用棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器联用技术(TLC-FID)预测储层中稠油粘度的方法,方便、快捷、经济。该方法包括 3 个步骤:首先,在工作区块内选取代表性稠油样品,用柱色谱制备出饱和烃、芳烃、非烃、沥青质组分,标定各组分在 TLC-FID 上的相对峰面积—质量校正系数;在此基础上,对一定数量稠油样品进行粘度测定和 TLC-FID 分析,建立工作区内稠油粘度与 TLC-FID 数据之间的指数数学关系;最后,测定待预测油层油砂抽提物的 TLC-FID 数据,通过所建立的数学关系计算其粘度。文中基于我国某油田特定区块的 27 个稠油样品,对该油田一口单井的 152 个油砂样品进行了应用研究,建立了该井的储层稠油粘度剖面,与实际情况基本吻合。

**关键词:**稠油;族组成;粘度指标;油砂;棒状薄层色谱法;粘度预测

**中图分类号:**TE345

**文献标识码:**A

## TLC-FID to predict viscosity of heavy oil in reservoir

Wang Shuangqing, Sun Weilin, Shen Bin, Wang Lei

(National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

**Abstract:** A thin layer chromatography-flame ionization detection (TLC-FID) technique was introduced in this paper to predict the viscosity of heavy oil in reservoir. The new method was convenient, efficient and economic. It took 3 steps. First, representative heavy oil samples were collected from oilfield, and the relative mass-to-area responses of aliphatic, aromatic, resin and asphaltene fractions of oil were determined respectively through preparing the fractions with column liquid chromatograph. Second, TLC-FID analysis and viscosity test of a certain amount of heavy oil samples were carried out, establishing an exponent mathematical relationship between them. Finally, viscosity of the to-be-predicted heavy oil could be calculated with TLC-FID data of the extract of oil sand according to above relationship. The method was practiced to establish viscosity profile of single well in an oil production area of China through analyzing 27 heavy oils from the area and 152 extracts of oil sands from the well, and the result achieved was reasonable.

**Key words:** heavy oil; chemical group; viscosity index; oil sand; TLC-FID; viscosity prediction

稠油的粘度是制约其开采成本和采收率的关键性因素。在稠油油藏的开发实践中,油层中原油的粘度是决定其开采方案的最主要因素之一<sup>[1-4]</sup>。因此,测定储层中稠油的粘度对于稠油油藏的开发具有非常重要的意义。然而,目前测定储层稠油粘度的最可靠办法是将原油采出后用流变仪进行测定。这种方法成本高、耗时长,往往还有原油样品采集方面的困难,在生产实践中还受诸多因素的制约,尤其不能满足高非均质性油藏制定精细开发方案的需要。

稠油的化学组成是决定其粘度的物质基础,两

者之间有着良好的数学关系<sup>[5-7]</sup>。棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器联用技术(TLC-FID)已广泛应用于原油化学组成的测定,具有简便、快速、污染少、费用低、试剂用量少等优点<sup>[8-10]</sup>。因此,研发利用 TLC-FID 对油砂萃取物进行石油族组成测定,预测储层稠油粘度的技术方法对于稠油开采工程具有重要的技术意义和经济价值。

## 1 样品与实验

样品为来自渤海 SZ36-1 和 QHD32-6 油田的单层稠油 27 件,单井系列油砂样品 152 件,其它

收稿日期:2010-03-10;修订日期:2011-02-17。

作者简介:汪双清(1961—),男,博士,研究员,主要从事有机地球化学研究。E-mail: herr007@163.com。

基金项目:中国地质调查项目“现代有机分析技术在地质调查中的应用”(1212010816028)和国家地质实验测试中心基本科研业务费专项(2009CSJ02)共同资助。

油砂样品 74 件。取各稠油 0.5 g 混合,溶于 80 mL 正己烷,常温下静置 24 h 后过滤。滤出的沥青质用正己烷淋洗 3 次(每次 1 mL)后用少量二氯甲烷溶解。正己烷溶液减压浓缩后,经多次常规柱色谱<sup>[10]</sup>和 MKW-MPLC-15A-50 型中压液相色谱仪(德国 Margot Köhnen-Willsch Chromatographie & Software 公司)<sup>[11]</sup>分离制备饱和烃、芳烃、非烃组分。饱和烃、芳烃、非烃、沥青质组分经 TLC-FID 检测为单组分后,于 40 °C 下用氮气吹至恒重(15 min 内质量差小于 3 mg)。

油砂(20 g)用 250 mL 三氯甲烷:甲醇(7:3, 体积比)混合溶剂索氏抽提 48 h,减压浓缩至适当体积,在 40 °C 下用氮气吹尽溶剂。

稠油和油砂抽提物的族组分分析和粘度测定参照标准方法<sup>[10,12]</sup>进行,分别使用 IATROSCAN-MK-6 棒薄层色谱-火焰离子化检测分析仪(岛津)和 RS150 Rheostress 流变仪(HAAKE,美国)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 TLC-FID 测定稠油族组成的相对质量-峰面积响应系数

表 1 列示了 5 种不同质量配比下所测得的饱和烃、芳烃、非烃、沥青质组分的 TLC-FID 相对质量-峰面积响应系数(单位质量所对应的峰面积的相对值)。对各种配比都进行了 12~13 次平行测试,所测得的组分间相对峰面积的相对标准偏差在 4.52%~10.06%之间。经计算,以饱和烃的相对质量-峰面积响应系数为 1,芳烃、非烃、沥青质馏分的相对质量-峰面积响应系数的平均值分别是 1.28,1.25,1.28。

### 2.2 稠油 TLC-FID 数据与粘度的相关性

稠油的粘度是其各化学成分共同贡献并相互作用的结果,与由稠油的化学组成决定的粘度指标

有很好的指数关系<sup>[5]</sup>。按照文献[5]所提供的原理、公式和方法,粘度指标与饱和烃、芳烃、非烃、沥青质组分的质量分数应具有线性关系。据此,以粘度为纵坐标,粘度指标为横坐标作图(图 1),以两者的相关系数最大值为标准,对从研究区所采集的 27 个稠油的粘度及族组成数据进行逼近法数学处理,得出该油田稠油粘度指标的计算公式如下:

$$I_v = W_{res} + 1.75W_{asp} - 2.60W_{ali} - 0.85W_{aro} \quad (1)$$

式中: $I_v$  为稠油的粘度指标; $W_{res}$ ,  $W_{asp}$ ,  $W_{ali}$ ,  $W_{aro}$  分别为稠油中非烃、沥青质、饱和烃、芳香烃组分的质量分数, %。

由图 1 可见,按式(1)计算得到的粘度指标与稠油实测粘度的相关性很好,  $R^2 = 0.82$ , 相关关系式为:

$$\eta = 8\,918.9 e^{0.025I_v} \quad (2)$$

式中: $I_v$  为稠油的粘度指标; $\eta$  为稠油的实测粘度(50 °C), mPa·s。

由式(1)和式(2)可以看到,稠油中饱和烃及芳

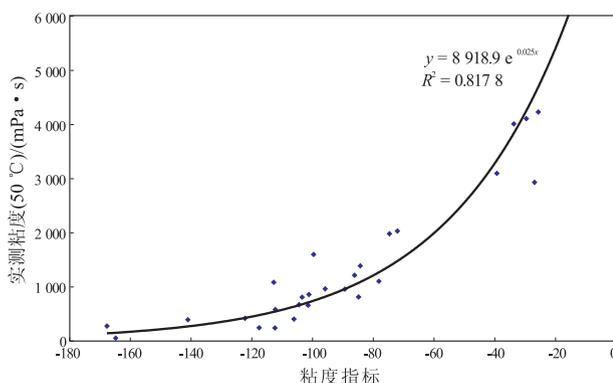


图 1 稠油的族组成粘度指标与实测粘度的关系

Fig.1 Correlation of viscosity index calculated with chemical group composition of heavy oil and measured viscosity value

表 1 稠油族组分的 TLC-FID 相对质量-峰面积响应系数测定结果

Table 1 Mass-area response factors measured with TLC-FID for chemical fractions of aliphatics, aromatics, resin and asphaltene of heavy oil

饱和烃:芳烃:非烃:沥青质 (质量比)				测试 次数	相对质量-峰面积响应系数							
饱和烃	芳烃	非烃	沥青质		饱和烃		芳烃		非烃		沥青质	
					平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
1.00	1.00	1.00	1.00	12	1.00	—	1.33	0.10	1.14	0.05	1.26	0.09
1.00	2.00	0.50	0.50	13	1.00	—	1.12	0.08	1.28	0.10	1.26	0.11
1.00	0.50	2.00	0.50	12	1.00	—	1.38	0.06	1.33	0.11	1.23	0.11
1.00	0.50	0.25	0.02	13	1.00	—	1.24	0.11	1.49	0.12	1.40	0.14
1.00	1.50	2.50	2.00	13	1.00	—	1.30	0.09	1.02	0.09	1.24	0.08
总平均值					1.00	—	1.28	0.09	1.25	0.10	1.28	0.11
相对标准差/%					0.00	—	7.73	7.02	14.30	7.64	5.49	8.23

烃的含量越高则其粘度越低,即饱和烃与芳烃对稠油的粘度作负贡献,而且,前者的贡献力度大于后者,相对大小为 260/85。这是因为饱和烃、芳香烃都是低极性组分,它们的存在削弱了稠油中高极性组分之间的相互作用,从而导致粘度下降。正是因为饱和烃的极性比芳烃更小,饱和烃组分对稠油中高极性组分之间的相互作用削弱的力度也大于芳烃组分。同理,非烃组分和沥青质组分对稠油的粘度作正贡献,在稠油中的质量分数越大则稠油的粘度越高。沥青质由于极性更大,分子量更高,对稠油粘度的贡献力度也更大,大约是非烃组分的 1.75 倍。这与以前研究工作所取得的认识一致<sup>[5]</sup>。

### 2.3 油砂抽提物的粘度

对 74 个来自不同钻井的油砂抽提物进行了粘度测定,并用 TLC-FID 测定了它们的石油族组成。基于族组成数据按式(1)和式(2)计算了油砂抽提物的粘度,再将它们与实测粘度用图 2 进行相关分析发现,计算粘度和实测粘度有很好的线性关系,相关系数  $R^2 = 0.80$ ,两者之间的数学关系式为:

$$\eta = 4.0 \eta_{cal} \quad (3)$$

式中: $\eta$ 为实测粘度, $\eta_{cal}$ 为计算粘度。

根据式(3),通过 TLC-FID 族组成数据所计算的粘度值低于实测值,应该进行修正。众所周知,稠油中都含有一定量的水份,油砂抽提物中的水份则在萃取和制备过程中已基本上被去除,而稠油中的水份有降低粘度的作用,因此,在相同的稠油族组成条件下,油砂抽提物的粘度会比稠油的粘度高。式(1)和式(2)是基于对稠油的粘度测定数据建立的,对油砂抽提物计算出的粘度应该是其含水条件下的粘度值,因而会比无水条件下的实测值

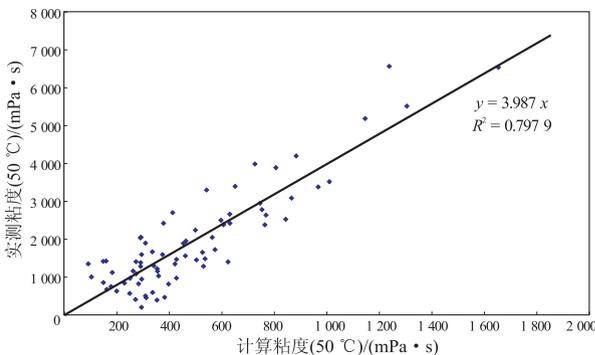


图 2 74 个油砂抽提物的计算粘度与实测粘度的线性关系

Fig. 2 Linear correlation of calculated and measured viscosity values of extracts of 74 oil sands

低。鉴于储层中稠油本身是含水的,笔者认为,在应用式(1)和式(2)进行储层粘度预测时不必用式(3)对所获得的粘度值进行校正,原值应该更接近实际粘度。

### 2.4 建立单井纵向粘度剖面

对从 QHD32-6-4 井所采集的 152 个油砂样品进行了 TLC-FID 测试,按式(1)计算出粘度指标后,按式(2)计算出油层粘度,并将结果投影在深度坐标上,得到该井的油层粘度纵向剖面(图 3)。从图 3 可以看到,该稠油油藏有 3 个主要油层,深度分别为 1 050~1 200,1 260~1 310,1 490~1 530 m 井段。按照图 3 所示的储层稠油粘度纵向分布情况,该油藏稠油粘度的纵向非均质性是相当严重的。总的来说,1 050~1 200 m 井段稠油的粘度相对较低,50 °C 时的粘度不足 1 250 mPa·s,而 1 260~1 310 m 井段稠油的粘度更低,基本上在 920 mPa·s 以下。但在 1 490~1 530 m 井段,稠油的粘度要高得多,最高可达近 7 050 mPa·s。对这 3 个井段油砂的抽提物分别混合后所测定的粘度值支持这一看法,50 °C 时的粘度由浅至深分别为 1 892,1 317,4 073 mPa·s。笔者推测,1 490~1 530 m 井段所对应的储层很可能是该油藏原油聚集的初始层位,由于发生了二次运移,形成了另外 2 个油层,极性较小的原油组分流失后,极性较高的组分在该层位被富集,因而导致了上述油层稠油粘度的纵向剖面分布特征。这一观点可从油砂中有机质含量数据得到支持,3 个井段的氯仿沥青“A”平均值由深至浅分别是 2.18%,6.27%,8.47%,沿运移方向增加。由此看来,这里用 TLC-FID 所建立的油层稠油粘度纵向剖面应该是接近油藏真实情况的。根据这一剖面,在开采该油藏时不宜将深层和浅层的稠油同时开采,较浅油层应是优先考虑的开采对象。

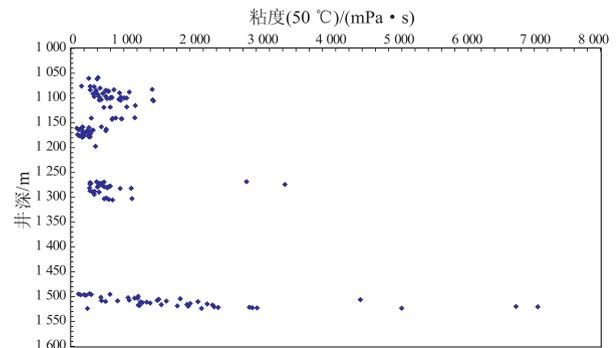


图 3 TLC-FID 法预测的 QHD32-6-4 井纵向粘度剖面  
Fig. 3 Viscosity profile of well QHD 32-6-4 predicted through TLC-FID technique

### 3 结论

稠油的粘度与其饱和烃、芳烃、非烃、沥青质的质量分数之间有着很好的数学关系,可以通过测定稠油的族组成,计算出稠油的粘度。基于这一原理,建立了一套利用棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器联用技术测定油砂有机质的族组成,在此基础上有效地预测油层稠油粘度的方法。该方法具有简单、快速、廉价等诸多优点,并可通过井壁油砂取样进行高密度油藏粘度描述,对于稠油油藏工程具有实用价值。

#### 参考文献:

- [1] 刘文章. 热采稠油油藏开发模式[M]. 北京:石油工业出版社, 1998:10—41.
- [2] 谷俊标,申龙涉,黄东维,等. 稠油降粘技术在采油工艺上的应用[J]. 辽宁化工, 2003,32(10):430—432.
- [3] 姜涛,肖林鹏,杨明强,等. 超深层稠油油藏注天然气吞吐开发矿场试验[J]. 大庆石油地质与开发, 2008,27(5):101—104.
- [4] 程亮,杨林,邹长军. 稠油物理场降粘技术研究进展[J]. 化

工师刊, 2005,19(6):51—55.

- [5] 汪双清,沈斌,林壬子. 稠油黏度与化学组成的关系[J]. 石油学报(石油加工), 2010,26(5):795—799.
- [6] 汪双清,沈斌,林壬子. 辽河超稠油的化学组成特征及其致粘因素探讨[J]. 石油学报(石油加工), 2010,26(6):894—900.
- [7] 汪双清,沈斌,林壬子. 微波作用下稠油粘度变化及其化学因素探讨[J]. 石油实验地质, 2010,32(6):615—620.
- [8] 杨海鹰,顾洁,蔺玉贵. 棒状薄层色谱/氢火焰离子化检测器法测定重油烃族组成影响因素的探讨[J]. 分析仪器, 2001(2):27—29.
- [9] 王汝祥,葛颖. 储集岩抽提物的 TLC-FID 棒状薄层色谱分析及应用[J]. 石油实验地质, 2003,25(3):314—317.
- [10] 国家发展与改革委员会. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5119—2008 岩石中可溶有机物及原油族组分分析[S]. 2008.
- [11] Radke M, Willsch H, Welte D H. Preparative hydrocarbon group type determination by automated medium pressure liquid chromatography[J]. Anal Chem, 1980, 52(3):406—411.
- [12] 中国石油天然气总公司. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 6316—1997 稠油油藏流体物性分析方法原油粘度测定[S]. 1997.

(编辑 黄娟)

(上接第 181 页)

流通道为裂缝,大量发育的孔隙如果缺少裂隙的沟通,不具有渗透性,即使孔隙再发育,也难以形成有效的储层,这是长岭断陷火山岩储层与碎屑岩储层最重要的区别之一。

2)长岭断陷营城组火山岩储层属于非均质性严重的一类储层,火山岩岩性、岩相对储层的发育具有明显的控制作用,特别是火山岩亚相与物性密切相关。溢流相上部亚相、爆发相上部、下部亚相物性相对较好,是最有利储层发育的相带;溢流相下部、爆发相中部一般不能构成有效储集层。在成岩后生作用阶段形成各种次生孔隙和裂缝对储集空间的形成改造以及储集性能的改善起关键作用,后期的构造作用、风化淋滤作用、溶蚀作用和脱玻化作用对火山岩储层物性的影响尤为重要。

#### 参考文献:

- [1] 吴群,周荔青. 松辽盆地长岭断陷东部大中型火山岩(油)气

田形成分布特征[J]. 石油实验地质, 2009,31(1):231—237.

- [2] 赵德力,徐佑德,魏分粮,等. 长岭断陷营城组火山岩成藏特征及勘探方向[J]. 断块油气田, 2009,16(3):17—20.
- [3] 陆建林,张玉明,徐宏节,等. 松辽盆地长岭断陷火山岩储层形成特征研究[J]. 石油实验地质, 2009,31(5):441—448.
- [4] 杨双玲,刘万洙,于世泉,等. 松辽盆地火山岩储层储集空间特征及其成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007,37(3):506—512.
- [5] 刘为付,朱筱敏. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化[J]. 石油实验地质, 2005,27(1):44—49.
- [6] 庞彦明,章凤奇,邱红枫,等. 酸性火山岩储层微孔裂隙结构及物性参数特征[J]. 石油学报, 2007,28(6):72—76.
- [7] 唐胡琼,段永刚,李季,等. 腰英台气田腰深 1 井产能评价及试井分析[J]. 钻井工艺, 2009,32(2):38—40.
- [8] 秦伟军,刘超英,谈凤其,等. 松辽盆地长岭断陷火山岩相与天然气成藏关系[J]. 石油实验地质, 2008,30(4):328—332.
- [9] 戴亚权,罗静兰,林潼,等. 松辽盆地北部升平气田营城组火山岩储层特征与成岩演化[J]. 中国地质, 2007,34(3):528—535.
- [10] 李海华,张彦霞,王保华. 松辽盆地长岭断陷碎屑岩储层微观特征研究[J]. 石油实验地质, 2009,31(6):557—563.

(编辑 徐文明)