

Study on Paraffin Inhibiting Mechanism and Structural Characteristics of Resin in Crude Oil of Ultra-Low Permeability Reservoirs

Qingyun Liu^{1,2}, Mei Lu³, Qingwen Zhang⁴, Yanling Chen²

¹School of Chemistry and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou Hubei

²Faculty of Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei

³Research Institute of Oil and Gas Technology, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an Shaanxi

⁴Research & Development Center of Bazhou Dade Petroleum Technology Ltd., Beijing

Email: liuqy_yzu@163.com

Received: Mar. 29th, 2016; accepted: Apr. 20th, 2016; published: Dec. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The natural resin of high paraffin crude oil had apparent inhibition for the paraffin deposition. Based on the combination of spectral methods such as ultraviolet, infrared and ¹HNMR analyses and combined with elemental analysis, the composition and structure of paraffin resin from wellbore of Huaqing Wellblock in Changqing Oilfield were studied comprehensively. In addition, X-ray diffraction technique was used to describe paraffin crystal distortion, namely the paraffin inhibition mechanism for the further study of the structural characteristics of resin. The results show that paraffin precipitation from the wellbore is composed of C₂₉ long-chain alkanes and little resin. The resin is from the complicated mixture of paraffin precipitation contained long-chain alkyl, aryl, carbonyl, ester group and so on, in which the long-chain alkyl is the essential condition for the co-crystallization of resin and paraffin, and the rest groups of long-chain alkyl, aryl, carbonyl, ester are helpful for the crystal distortion of paraffin, the change of crystal form and the transformation from long range order to a short-range one in paraffin crystals. The paraffin precipitation is hard to occur due to the loose structure of paraffin crystals. The natural resin of crude oil has significant performance for paraffin inhibition.

Keywords

Resin, Paraffin Inhibiting Mechanism, Hydrogen-Bond, Paraffin Crystal Distortion, X-Ray Diffraction, Spectrum Analysis

超低渗油藏原油胶质的防蜡机理与结构特征

刘清云^{1,2}, 陆梅³, 张馨文⁴, 陈艳玲²

¹长江大学化学与环境工程学院, 湖北 荆州

²中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉

³中国石油长庆油田分公司油气工艺研究院, 陕西 西安

⁴巴州大德石油科技公司研发中心, 北京

作者简介: 刘清云(1964-), 男, 博士, 副教授, 一直从事油田化学方面的科研及教学工作。

Email: liuqy_yzu@163.com

收稿日期: 2016年3月29日; 录用日期: 2016年4月20日; 发布日期: 2016年12月15日

摘要

高含蜡原油中天然胶质对蜡的沉积具有明显的抑制作用。通过紫外、红外、¹HNMR等波谱学方法并结合元素分析全面研究了长庆超低渗油藏华庆油区伴随井筒结蜡析出胶质的组成与结构, 通过X衍射技术研究了蜡晶晶格畸变即胶质的防蜡机理, 旨在探讨胶质防蜡作用的结构基础。结果表明, 井筒析出纯蜡为C₂₉左右的长链烷烃, 析出蜡胶质为含长链烷基、芳基、羰基、酯基等基团的复杂混合物, 其中胶质所含长链烷基是胶质与蜡共晶的必要条件。长链烷基所连芳基、羰基、酯基等其他基团则利于胶质在与蜡共晶时致使蜡晶晶格畸变、晶型改变并由长程有序变为短程有序, 最终因结构疏松而难以沉积, 原油胶质的防蜡作用比较明显。

关键词

胶质, 防蜡机理, 氢键, 蜡晶畸变, X衍射, 波谱分析

1. 引言

高含蜡、低含胶质与沥青质是长庆油田超低渗透油藏原油的典型特征。采出与集输过程中当原油温度低至蜡的析出点时, 蜡即伴随原油中少量存在的天然胶质、沥青质结晶析出, 共同沉积在管道内壁, 使管径减小、流动摩阻增加甚至造成堵塞, 导致停产检修[1][2]。一直以来, 学术界普遍认为少量的胶质、沥青质与蜡共晶, 具有防蜡作用, 超过一定量则对防蜡不利, 甚至有促进蜡沉积的趋势[3][4]。但人们并没有从蜡与胶质或沥青质的分子组成、结构与分子间相互作用等方面对防蜡机理进行研究。胶质和沥青质的分子组成、结构与聚集状态异常复杂, 一直是科学界的难题, 目前仍然没有良好的方法解析胶质、沥青质内部的分子组成与结构。一些比较经典的推论如胶体论、芳香片层结构以及生物大分子学说都不能很清晰、透彻地解释胶质和沥青质的结构与防蜡机理。人们对胶质或沥青质的防蜡机理, 仍然缺乏深层次的认识。

伴随蜡析出的那部分胶质、沥青质, 因具有能与蜡共沉积的特性, 应该在结构上具有一些与蜡相同的特征。这部分胶质、沥青质具有防蜡作用如晶格畸变现象, 说明这部分胶质、沥青质与伴随析出的蜡还具有明显的组成和结构差异[5][6]。笔者着眼于蜡沉积过程中伴随析出的那部分胶质、沥青质的组成与结构特点, 采用波谱学方法, 通过涂膜透射法、溶液透射法等红外光谱技术, ¹HNMR与紫外分析等方法

联用并结合元素分析结果, 解析华庆超低渗透油藏井筒析出蜡、胶质的结构与导致共晶及晶格畸变的特征基团, 并结合 X 衍射技术研究析出蜡各组分的结晶状态及沉积抑制规律。

2. 实验方法

2.1. 仪器与药剂

1) 仪器: 德国 Elementar 公司 Vario EL III (C、H、O、S、N)全自动元素分析仪; 日本岛津公司 UV2450 紫外可见分光光度计; 美国 Nicolet 公司 Nicolet 6700 智能型傅里叶变换红外分光光度计; 德国布鲁克 D8-FocusX 射线粉晶衍射仪

2) 药剂: 庚烷; CCl_4 ; CDCl_3 ; FL-01 防蜡剂; 元 307-61 纯蜡; 元 307-61 析出蜡中除去胶质后的纯蜡质成分; 元 307-61 析出蜡(含胶质); 元 307-61 原油; 元 307-61 采出液脱水原油; 白 413-24、白 415-25、白 419-24 及元 305-63 井的原油与析出蜡(含胶质)等。

2.2. 实验方法

1) 油蜡样组分离与分析: 油蜡样四组分含量分析参照中国石油天然气行业标准《SY/T 7550-2012 原油中蜡、胶质、沥青含量的测定》, 组分分离采用常规柱色谱四组分分离方法进行。

2) 紫外分析方法: 配成质量分数为 $1.0 \times 10^{-5}\%$ 的正庚烷溶液后测试, 测试波长: 200~400 nm。

3) 红外分析方法: 配成 CCl_4 溶液后以 KBr 薄片涂膜透射法、溶液透射法测定。

4) 核磁共振氢谱(^1H NMR)检测: 采用 Bruker Ascend400 型核磁共振仪, 用 0.6 mL 剂量的 CDCl_3 溶解胶质, 控制质量浓度在 0.5 mg/mL, 进行胶质的核磁共振氢谱(^1H NMR)检测。

5) X 衍射分析: 防蜡剂配成辛烷溶液, 与蜡样混合, 然后混匀, 50°C 恒温慢慢蒸干、结晶, 然后进行 X 衍射分析。测试条件: Cu $\text{K}\alpha$ 靶, 管电压 40 kV, 管电流 100 mA, Ni 滤波, 发散狭缝 0.15° , 接受狭缝 0.15 mm, 扫描速度 $8^\circ/\text{min}$, 采用步样宽 0.02° , 连续扫描, 扫描范围 $10^\circ\sim 60^\circ$ 。

3. 结果与讨论

3.1. 胶质的防蜡作用

华庆油田是典型的超低渗透油田, 大部分油井采出液为高含蜡轻质油, 胶质、沥青质等重质组分少, 其轻质组分作为采出液的主体对分子量大的蜡溶解能力有限, 蜡易结晶析出。实验采集了井口地面以下 50~100 m 井筒结蜡比较典型的元 307-61 井、白 415-25 井、元 305-63 井等 5 口油井的析出蜡和井口原油样, 测定各样品中沥青质、胶质、蜡质的含量, 分析结果如表 1 所示。

表 1 结果表明, 近地面井筒析出蜡基本不含沥青质, 但均含一定量胶质且含量比原油中高。析蜡井原油胶质含量越高, 析出蜡胶质含量也越高。原油残余蜡的量和油井结蜡清蜡周期就越长, 结蜡越轻微, 可见采出液胶质对石蜡的结晶与沉积具有良好的抑制作用。5 口调研井中, 元 307-61 井原油胶质含量最高、残余蜡最多, 析出蜡胶质含量也最高, 对难溶蜡的抑制也最强。有文献表明[7], 胶质与蜡共同沉积时, 可致晶格畸变, 起到一定的防蜡作用。但表 1 中白 415-25 井和白 419-24 井原油与析出蜡胶质含量几乎相同, 而白 415-25 井热洗与修井周期都长许多, 即结蜡程度轻, 可见胶质的含量并不是影响结蜡的唯一因素。因此有必要对胶质的组成、结构及防蜡机理进行研究。

3.2. 胶质的元素分析

对从元 307-61 井等结蜡中井筒析出蜡中分离出来的析出纯蜡、析出蜡胶质组分进行元素分析, 结果如表 2 所示。

Table 1. Composition analysis and order of severity of product from paraffin-troubled wells**表 1.** 结蜡井产出物组分分析与生产结蜡概况

井名	析出蜡熔点/°C	析出蜡颜色	质量分数/%				热洗周期/d	修井周期/d
			析出蜡胶质	原油残余蜡	原油胶质	原油沥青质		
元 307-61 井	58~64	黑色	2.98	9.29	2.41	0.69	60	未修
白 413-24 井	59~63	棕色	2.87	8.36	2.27	0.60	28	584
白 415-25 井	59~63	黄色	1.79	7.21	1.43	0.52	14	360
白 419-24 井	59~63	黄色	1.78	7.98	1.40	0.46	7	180
元 305-63 井	59~63	淡黄	0.09	6.65	0.18	0.07	3	120

Table 2. Elemental analysis of the sample from paraffin-troubled wells**表 2.** 井析出纯蜡、析出蜡胶质的元素分析

名称	质量分数/%					C/H (摩尔比)
	C	H	O	N	S	
元 307-61 井析出纯蜡	85.23	14.40	0.31	0.06	0.00	0.493
元 307-61 井析出蜡胶质	84.65	11.35	2.97	0.61	0.42	0.621
元 307-61 井原油胶质	85.18	10.48	3.16	0.69	0.49	0.676
白 415-25 井析出蜡胶质	84.56	11.17	3.08	0.66	0.53	0.629
白 419-24 井析出蜡胶质	84.21	11.04	3.53	0.65	0.57	0.637

元素分析结果表明,析出蜡胶质主要由 C、H 和少量 O 组成,其中元 307-61 井析出纯蜡 C、H 元素摩尔比低达 0.493,说明析出纯蜡基本上为饱和烷烃;元 307-61 井析出蜡胶质的 C、H 元素摩尔比也低达 0.621,低于同井采出液原油胶质的 0.676,这说明析出蜡胶质中应含大量 C/H 摩尔比低的长链烷基,而 C/H 摩尔比高的稠环芳烃应该相对较少,蜡对与之共晶的胶质有选择性。

3.3. 紫外吸收光谱分析

元 307-61 井等结蜡井筒析出纯蜡与白 419-24 井、白 415-25 井、元 307-61 井等结蜡井筒析出蜡胶质的紫外吸收光谱如图 1 所示。

紫外光谱分析表明,析出纯蜡和析出蜡胶质在 290 nm 以上均无明显吸收峰,说明其中稠环芳烃比较少,因为即使是最简单的稠环芳烃,如萘在 321 nm 处也有明显的吸收峰。结合 250~280 nm 处的吸收峰强度分析,这些物质中取代单环芳烃的含量比较高。而与元 307-61 井析出纯蜡的紫外光谱相比,白 415-25 井、元 307-61 井、白 419-24 井析出蜡胶质的紫外吸收峰逐渐增强而且红移,且元素分析均含 O、N,说明伴随着石蜡结晶沉积的胶质芳环上可能连接了某些增色基团,如—C=O、C=C、—OH、—NH,共轭基团数目逐渐增多导致紫外吸收峰波长增加[8] [9]。另外,元 307-61 井析出纯蜡仍然具有较弱的紫外吸收,且吸收峰的位置、峰形和强度与单取代苯非常相似,说明实验纯化过的元 307-61 井析出纯蜡中仍然残留有少量烷基链比较长的单环芳烃,由于长链烷基是构成分子的主要部分,主要表现出烷基的物理特性,在通过色谱柱分离胶质时仍然伴随长链正构烷烃进入到纯蜡(烷烃)组分。

可见,蜡结晶时,结构相似但不完全相同的物质能够容易聚集而产生共晶,这正是胶质具有防蜡作用的理论基础。

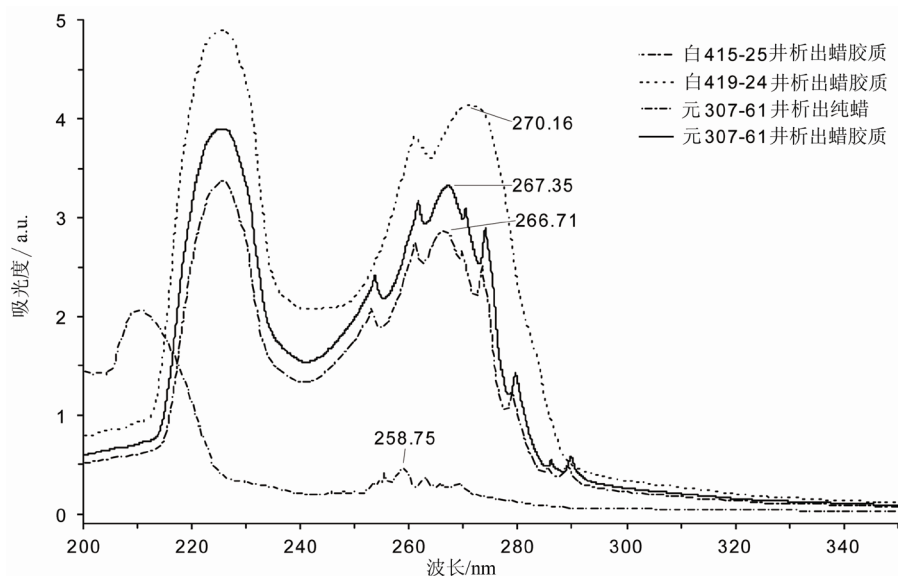


Figure 1. UV spectrum of pure paraffin from Yuan 307-61 and resin from other paraffin-troubled wells

图 1. 元 307-61 井析出纯蜡与其他井析出蜡胶质的紫外光谱

3.4. 透射与全反射红外光谱联合解析

元 307-61 井析出纯蜡、元 307-61 井及白 419-24 井析出蜡胶质质量分数为 $1.0 \times 10^{-3}\%$ 四氯化碳溶液的红外吸收光谱(溶液透射法)如图 2 所示。

3 个样红外光谱均在 2930 cm^{-1} 和 2860 cm^{-1} 附近有 CH_3/CH_2 强伸缩振动峰、 $1460/1380 \text{ cm}^{-1}$ 附近有 CH_3/CH_2 变形振动的中强吸收、 730 cm^{-1} 附近长直链烷基的吸收峰也比较明显。这说明元 307-61 井、白 419-24 井析出蜡胶质都具有与元 307-61 井析出纯蜡相似的长直链烷基，这是胶质与石蜡共晶的基础。

图 2 曲线 b 和 c 在 850 、 1600 cm^{-1} 附近及 3080 cm^{-1} 都有很强的芳基吸收峰、在 1700 cm^{-1} 附近有一 $\text{C}=\text{O}$ 的吸收峰、在 1200 cm^{-1} 附近都含酯基的吸收峰[10]，表明元 307-61 井、白 419-24 井析出蜡胶质除了都具有与元 307-61 井析出纯蜡相似的长链烷基外，还具有元 307-61 井析出纯蜡所没有的芳基、羰基与酯基，这是导致纯蜡蜡晶晶格畸变的重要因素。

图 2 中曲线 a 在 1600 cm^{-1} 附近也有微弱的芳环的特征吸收峰，表明元 307-61 井析出纯蜡仍然含少量芳基，这与紫外光谱分析结果相符合。图 2 曲线 c 中在 $3500\sim 3700 \text{ cm}^{-1}$ 还有明显的羧基吸收峰，表明白 419-24 井析出蜡胶质含有羧基，这与元素分析结果及该曲线中 1700 cm^{-1} 处 $\text{C}=\text{O}$ 的吸收峰相符合。另外，其他 5 口油井如元 307-61 井、白 415-25 井、元 305-63 井等析出纯蜡的红外光谱无论是从峰的位置、形状、数目以至面积都无明显差异，元 307-61 井、白 413-24 井、白 415-25 井 3 口井析出蜡胶质的红外光谱亦基本相同。这些共同特征都与它们均来自同一油层(长 6 油层组)有关，具有相似特征相符合。

3.5. 蜡胶质 ^1H NMR 分析

白 419-24 井和元 307-61 井析出蜡胶质的 ^1H NMR 分析图谱如图 3 所示($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$)。

^1H NMR 分析结果表明，白 419-24 井和元 307-61 井析出蜡胶质分别在化学位移为 7.25 ppm 和 7.26 ppm 处存在芳基氢的吸收峰； 5.34 ppm 的弱吸收峰可能是酯基与芳基之间碳($\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{Ar}-$)上的氢。在白 419-24 井析出蜡胶质的 ^1H NMR 分析图谱中还有 10.92 ppm 的峰，表示有一 COOH 的存在，这是白 419-24 井析出蜡胶质有别于元 307-61 井析出蜡胶质的地方，与图 2 中红外光谱曲线 c 分析的结果也相符合。

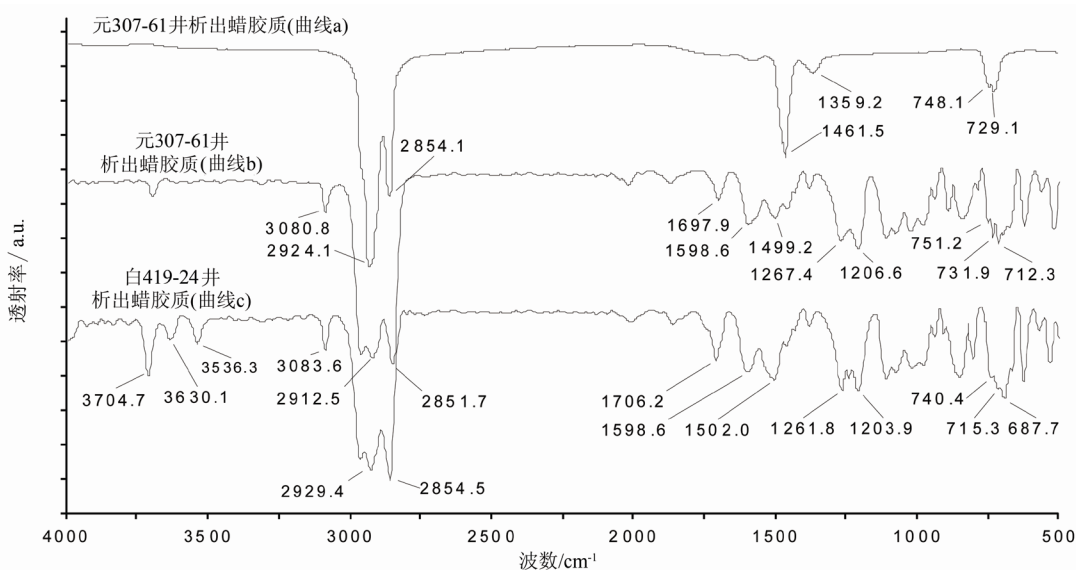


Figure 2. Transmission IR of pure paraffin from Yuan 307-61 and resin from other paraffin-troubled wells

图 2. 元 307-61 井析出纯蜡和其他井析出蜡胶质的红外透射光谱

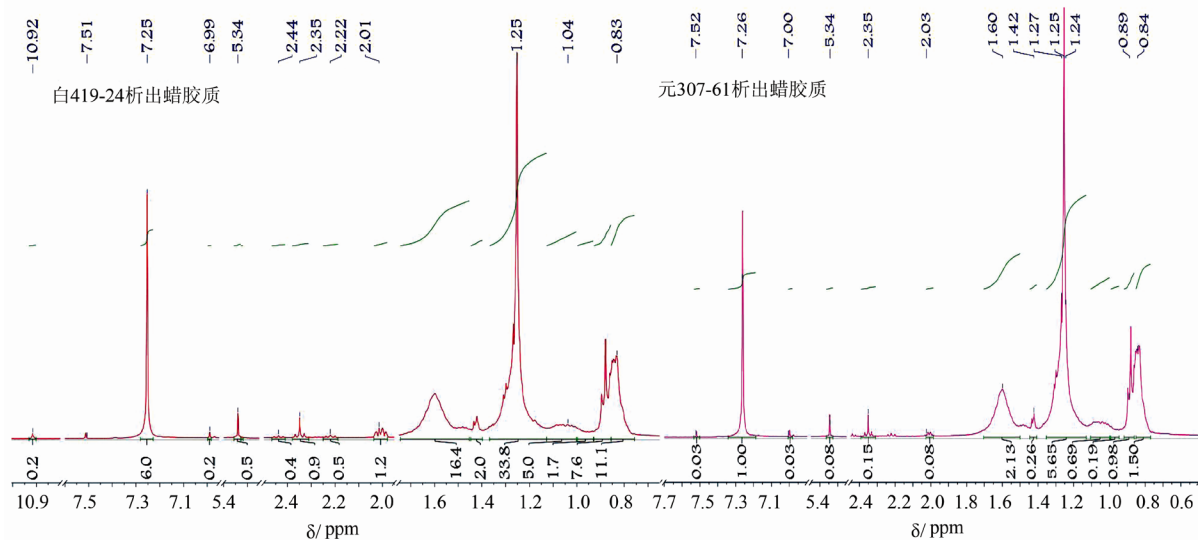


Figure 3. ¹H NMR of resin from paraffin of Yuan 307-61 and Bai 419-24

图 3. 元 307-61 井和白 419-24 井析出蜡胶质的 ¹H NMR 分析图谱

在 0.89~2.35 ppm 的峰是芳烃长侧链上氢的吸收峰，其中在 2.03、2.22、2.35 ppm 处是长侧链邻近芳环的 α 碳上的氢(H_α)，在 1.24、1.26、1.27、1.42、1.60 ppm 的峰是 β 碳及 β 以外的 CH_2 或 CH 基上的氢(H_β)，在 0.83、0.84、0.89 ppm 是 γ 碳及 γ 以外的 CH_2 或 CH 基上的氢(H_γ)。按 Brown-Ladner 公式[11]计算：

$$f_A = \frac{C/H - (H_\alpha + H_\beta + H_\gamma) / 2H_T}{C/H}$$

式中： f_A 为芳香度； C/H 为碳氢摩尔比(如表 2)； H_α 、 H_β 和 H_γ 均为其相应各峰的积分面积之和； H_T 为所有 H 峰积分面积总和。

根据图3结果,按上述Brown-Ladner公式计算出元307-61井和白419-24井析出蜡胶质的芳香度 f_A 分别为:0.273和0.280,均仅为该区原油胶质的1/4左右。考虑到 H_a 比较低特别是 H_y 高,说明这些伴随蜡析出的胶质所含长链烷基成分多,富含长链烷基使元307-61井和白419-24井析出蜡胶质利于与蜡共晶。

3.6. X衍射与防蜡机理分析

防蜡剂最重要的作用机理是与蜡共晶并导致晶格畸变[12]。对元307-61井析出纯蜡、元307-61井析出蜡胶质、白415-25井和白419-24井析出蜡进行X衍射实验分析,结果如图4。

图4中元307-61井析出纯蜡在衍射角 2θ 为 22.50° 和 24.83° 附近有长链烷烃的特征峰,但峰的位置和强度与 C_{29} 的正构烷烃略有区别,这说明元307-61井析出纯蜡中仍然有非长链烷基结构的杂质存在,结合紫外光谱的结论,这些基团应该是芳烃。含胶质的白415-25井析出蜡和白419-24井析出蜡都有与元307-61井析出纯蜡相似的峰存在,但白415-25井析出蜡的峰强均比元307-61井析出纯蜡弱很多,峰有明显的位移且半高宽略有增加,峰形也不如元307-61井析出纯蜡尖锐,说明原先规整的蜡晶结构已经产生明显畸变,部分变为非晶质,白415-25井析出蜡中胶质表现出了强烈的晶格畸变作用。而白419-24井析出蜡的峰虽也有减弱,但没有白415-25井析出蜡胶质来的明显,更无峰有明显位移,所以白419-24井析出蜡胶质的晶格畸变作用较弱。另外,在白419-24井析出蜡中蜡晶在高角度 $2\theta = 24.254^\circ$ 的衍射峰基本消失,在衍射角 $2\theta = 21.827^\circ$ 的衍射峰略有减弱,而在低角度区出现一个新的隆起及小峰,这是典型的非晶质聚集体的峰,是白419-24井析出蜡胶质中氢键聚集使蜡晶的某些局部产生强烈的畸变,但因形成聚集体后分子数目减少,大部分蜡晶仍然没有太大的畸变,所以整体上说,蜡晶畸变不明显,这也是白419-24井虽然胶质含量与白415-25井基本相同,但结蜡却比白415-25井严重的原因。

白419-24井析出蜡胶质因氢键形成多聚体导致胶质只能以多分子聚集体的大颗粒形态分散、共晶在石蜡分子中,虽然单个大颗粒畸变效果较好,但聚集体大颗粒的数目有限,只能使石蜡晶体在局部产生

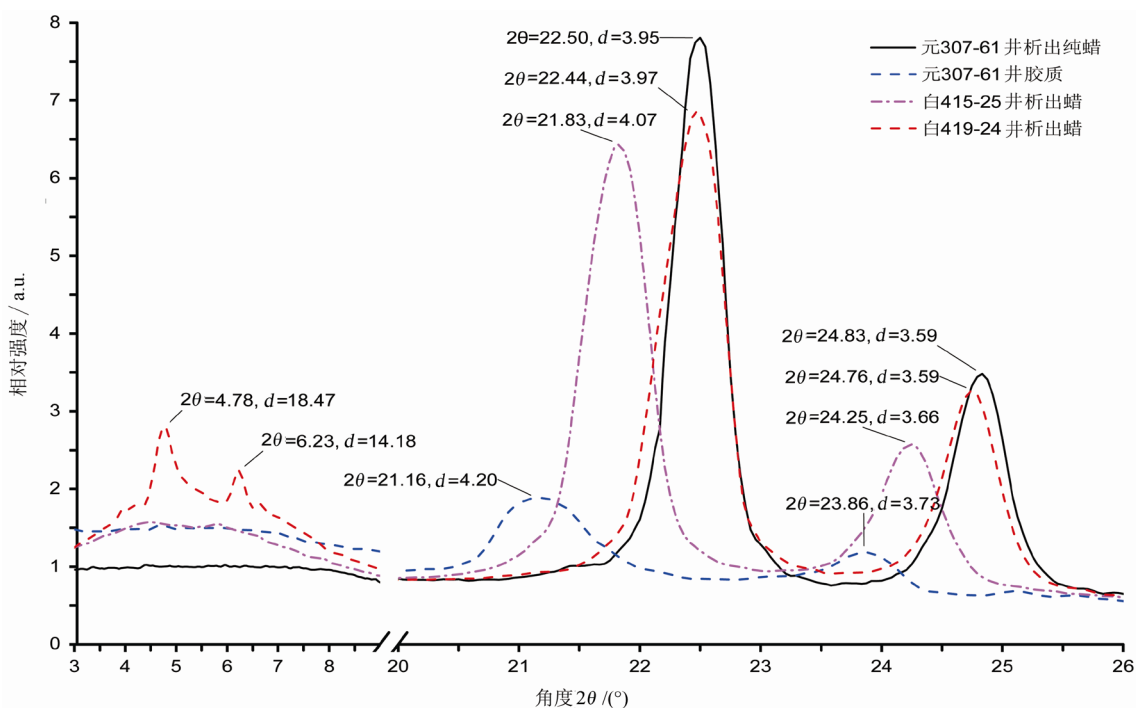


Figure 4. X-ray diffraction of pure paraffin & resin from Yuan 307-61, paraffin from Bai 415-25 & Bai 419-24
图4. 元307-61井析出纯蜡与胶质及白415-25井、白419-24井析出蜡的X衍射图

显著畸变,蜡晶整体晶格畸变的效果也就大幅度减弱,防蜡效果一般。而与之相反,白 415-25 井、元 307-61 井等井析出蜡胶质分子中大量的 C=O, C—O—C 等氢键受体类官能团不能相互之间构成氢键,不可能形成胶质(天然防蜡剂)分子之间的多聚体,每一个分子都可以分散在不同的石蜡晶格中,造成石蜡分子大面积畸变,同样含量的条件下,白 415-25 井、元 307-61 井等井析出蜡胶质的防蜡效率比白 419-24 井更高。

4. 结论

1) 采出液含胶质高的油井不易结蜡,说明胶质对蜡的沉积具有较强的抑制作用。

2) 紫外、红外、¹HNMR 及元素分析表明,析出纯蜡是以 C₂₉ 为主体的长链烷基,析出蜡胶质除含长链烷基外,还含芳基、稠环芳基、羰基、酯基和羧基等基团。

3) X 衍射分析表明,析出蜡胶质与析出纯蜡具有相似的长链烷基,可共同结晶,又因具有与析出蜡长链烷基形态差异很大的芳基、羰基和酯基等基团,导致蜡晶晶格严重畸变,结构疏松而难以沉积,表现出防蜡作用。

4) 解析胶质、沥青质的结构特征,研究胶质的防蜡作用及防蜡机理,对进一步开发高效防蜡剂等具有重要意义。

基金项目

国家自然科学基金项目(51174179)。

参考文献 (References)

- [1] 刘韵秋,郭小哲,孙宝龙. 基于原油及蜡样实验的油井井筒结蜡规律综合分析[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(3): 102-104.
- [2] Marie, E., Chevalier, Y., Eydoux, F., *et al.* (2005) Control of n-Alkanes Crystallization by Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers. *Journal of Colloid and Interface Science*, **290**, 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.04.054>
- [3] 张红,沈本贤. 蜡晶形态结构对原油降凝的影响[J]. 石油学报(石油加工), 2006, 22(5): 74-79.
- [4] 李传宪,张春光,孙德军. 降凝剂与原油组分相互作用的影响因素及降凝剂发展[J]. 化学通报, 2002, 65(12): 819-823.
- [5] Cristante, M. and Selves, J. (2003) Structure-Activity Relationship Study on Paraffin Inhibitors for Crude Oils. *Analytica Chimica Acta*, **284**, 303-316.
- [6] Jafari, B.T., Golpasha, R., Akbarnia, H., *et al.* (2008) Effect of Wax Inhibitors on Pour Point and Rheological Properties of Iranian Waxy Crude Oil. *Fuel Processing Technology*, **89**, 973-977. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.03.013>
- [7] Jack, F.T. and Robert, K.P. (2010) Deposition Apparatus to Study the Effects of Polymers and Asphaltenes upon Wax Deposition. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **72**, 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.03.014>
- [8] 樊虎,盛良全,童红武,等. 二阶导数同步荧光光谱测定卷烟主流烟气中的苯并(a)芘[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(10): 1627-1629.
- [9] 王子军,梁文杰,阙国和,等. 减压渣油组分中芳环数分布的同步荧光光谱研究[J]. 石油学报(石油加工), 1999, 15(4): 67-71.
- [10] Silverstein, R.M., Webster, F.X. and Kiemle, D.J. (2007) 有机化合物的波谱分析[M]. 药明康德新药开发有限公司分析部,译. 上海:华东理工大学出版社, 81-92.
- [11] Ali, L.H., Al-Ghannam, K.A. and Al-Rawi, J.M. (1990) Chemical Structure of Asphaltenes in Heavy Crude Oils Investigated by NMR. *Fuel*, **69**, 519-521. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(90\)90326-L](https://doi.org/10.1016/0016-2361(90)90326-L)
- [12] Chen, W., Zhao, Z. and Yin, C. (2010) The Interaction of Waxes with Pour Point Depressants. *Fuel*, **89**, 1127-1132. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.12.005>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org