

رسوب گذاری آسفالتین و روشهای جلوگیری از آن

مترجم: مهندس مسعود رضایی
شرکت مهندسی و توسعه نفت

چکیده

در این مقاله سعی شده است رسوب گذاری آسفالتین در نفت و عوامل موثر بر آن بخصوص عوامل ذاتی نفت که سبب عدم پایداری نفت می شود و روشهای جلوگیری از این رسوب گذاری مورد بحث و بررسی قرار گیرد. ترکیبات و مشخصات ساختمانی رزینها و آسفالتین های موجود در نفت از عوامل موثر در ناپایداری ذاتی نفت هستند و پایین بودن نسبت C/H، بالا بودن ترکیبات آروماتیکی و تراکم حلقه های آروماتیکی در نمونه های نفتی ناپایدار مشخصه های بارز در این ناپایداری اند. این نتایج بیانگر آن است که پایداری آسفالتین در نفت به شدت تحت تاثیر شکل ساختمانی خود قرار دارد. عوامل بیرونی که سبب رسوب آسفالتین می شوند عبارتند از: افت فشار، موانع فیزیکی، عدم همخوانی سیالاتی که همزمان تولید و با یکدیگر مخلوط می شوند.

مقدمه

رسوب آسفالتین و گرفتگی مسیرهای جریان نفت ناشی از این رسوب یکی از مشکلاتی است که در نفت های متوسط تا سبک اتفاق می افتد. این مشکل در کلیه مراحل تولید، انتقال و ذخیره سازی نفت با توجه به طبیعت نفت و محیط در تماس با آن ممکن است اتفاق بیفتد و مبالغ سنگینی برای برطرف کردن این مشکل در صنعت نفت هزینه می شود.

عواملی که سبب رسوب آسفالتین در موارد فوق الذکر می گردند عبارتند از: افت فشار در حین تولید موانع فیزیکی موجود در مسیر جریان، ناپایداری ذاتی خود نفت، عدم همخوانی سیالاتی که همزمان تولید و با یکدیگر مخلوط می شوند مانند اختلاط نفت تولیدی از چند چاه و استفاده از مواد نامناسب در عملیات تحریک سازی مانند حلالهایی با پایه پارافینی بالا و با "kerosen" معمولاً رسوب آسفالتین را با روشهایی مانند پیش بینی، تصحیحی و جلوگیری کننده، کنترل می کنند.

در روش پیش بینی خواص رسوب گذاری آسفالتین، ناپایداری مخلوط نفت خام و حتی میزان رسوب مورد ارزیابی قرار می گیرند.

مدلهایی نظیر "SPLAH" می تواند فشار و دمای رسوب گذاری را مشخص کند.

در روش تصحیحی از روشهای مکانیکی نظیر راندن scrapper/pig و یا تزریق حلالهای آروماتیکی استفاده می شود. مهمترین و موثرترین روش جلوگیری از رسوب آسفالتین تثبیت فشار مخزن در فشار بالای فشار رسوب گذاری آسفالتین با روش تزریق گاز است که بسیاری از موارد این روش به علت مشکلاتی که در تزریق گاز ممکن است وجود داشته باشد بسیار مشکل و یا غیرممکن است. لذا تنها جایگزین جلوگیری از رسوب آسفالتین، تزریق مواد معلق کننده inhibitor است که این مواد از چسبیدن ذرات آسفالتین به یکدیگر و همچنین چسبیدن به جداره لوله ها و مخازن جلوگیری می کنند.

مشخصه سازی نفت خام

دو نمونه نفت خام ناپایدار که سبب انسداد چاه شده بودند، برای تشخیص رابطه بین ناپایداری نفت و ترکیبات موجود در آن مورد استفاده قرار گرفته است ابتدا ترکیبات (SARA)^۱، نیتروژن کل، نیتروژن پایه، عدد اسیدی و عدد بازی توسط روشهای ذکر شده در مرجع ۱ اندازه گیری می شوند.

اندازه گیری میزان ناپایداری نفت خام

مناسب ترین روش برای اندازه گیری پایداری نسبی نفت خام، روش تعیین نقطه آغازین رسوب آسفالتین "Onset Flocculation" توسط افزودن یک غیرحلال به نفت است که روشهای مختلفی جهت اندازه گیری این نقطه به کار می رود. در این مطالعه از روش تیتراسیون استفاده شده است. بدینگونه که میزان نرمال هپتان با یک نرخ ثابت (ICM3/min) به نفت خام در حالی که به شدت به هم می خورد افزوده می گردد. تیتراسیون توسط پرتو نوری کنترل می شود. نقطه رسوب نقطه ای است که تغییر ناگهانی در میزان نور عبوری ایجاد می شود میزان حجم نرمال هپتان مورد نیاز جهت رسیدن به این نقطه "Onset Flocculation" اندازه گیری شده و این حجم بیانگر پایداری نسبی نفت است.

نتایج آزمایشها

ترکیب شیمیایی و پایداری نفت:

برای این مطالعه نفت خام از منابع مختلف مطابق جدول ۱ مورد آزمایش قرار گرفته و داده های حاصل برای محاسبه دو اندیس متفاوت Stability indexes به شرح زیر مورد استفاده واقع شده اند.

- نسبت وزنی رزین به علاوه آروماتیک به آسفالتین
- نسبت وزنی رزین به علاوه آروماتیک به آسفالتین به علاوه ترکیبات اشباع

با رسم این دو اندیس و حجم نرمال هپتان مصرف شده در یک نمودار، رابطه ای بین این دو مشاهده نشد. این نشانگر آنست که ترکیب در پایداری آسفالتین رل مهمی بازی نمی کند.

آنالیز ساختمانی آسفالتین و رزین

جدول ۲ پارامترهای ساختمانی رزین و آسفالتین نمونه نفت های مختلف را نشان می دهد که عبارتند از:

آروماتیسیت^۲ (Fa)، درجه تراکم حلقه های آروماتیکی (CI/CI)^۳ و تعداد حلقه های آروماتیکی در متوسط مولکول "Ar" یک مقایسه بین دو نوع آسفالتین از دو نوع نفت خام پایدار

بیانگر پایداری پیشرفت نفت است.

از آنجایی که یکی از مناسب ترین روشهای کنترل مشکل رسوب آسفالتین ، استفاده از مواد شیمیایی معلق کننده است لذا روشهای ارزیابی و انتخاب یک " Asphaltene inhibitor " کارآمد را مورد بررسی قرار می دهیم .

ارزیابی مواد شیمیایی معلق کننده

به منظور ارزیابی یک " inhibitor " مناسب لازم است ابتدا پایداری نمونه نفت مرده بعد از افزودن " inhibitor " در شرایط آتمسفریک آزمایش شود . اگر اثر مثبت آن در شرایط محیط تأثیر داشت آن را در شرایط دمایی و فشاری مخزن مورد آزمایش قرار می دهند . روش کار به شرح زیر است .

شرایط آتمسفریک :

در این آنالیز سه نمونه نفت با سه نمونه معلق کننده " inhibitor " مورد آزمایش قرار گرفته اند جدول ۳ بیانگر این آزمایش است . مقادیر ذکر شده در ستون دوم میزان نرمال هپتان مصرفی در نمونه نفت بدون افزایش هر گونه ماده ای به عنوان مرجع است . این ستون بیانگر آنست که نمونه نفت ۷ ناپایدارترین نمونه نفت است . معلق کننده هایی که میزان نرمال هپتان مصرفی را به بیش از 50 میلی متر افزایش می دهند ، مناسب تشخیص داده می شوند . لذا در این جدول ، محصول " BA " به عنوان مناسب ترین آنها انتخاب می گردد و P2 بدترین است حتی باعث تسریع و تقویت رسوب گذاری آسفالتین نیز شده است .

مطالعه نمونه نفت در شرایط مخزن

هنگامی که مؤثرترین ماده در شرایط آتمسفریک انتخاب شد آن را در شرایط فشار و دمای مخزن مورد مطالعه قرار می دهیم . در این مطالعه میزان حجمی مشخص از " inhibitor " به نفت افزوده و در دمای ثابت فشار نفت مرحله به مرحله کاهش می یابد ، و میزان عبور نور در سیستم ۴ (SDS) اندازه گیری می شود . فشاری که رسوب آسفالتین تشکیل می شود

TABLE 1—COMPOSITION OF CRUDE OILS

Crude Oil	Sulfur wt-%	Asphaltenes wt-%	Resins wt-%	Alkylates wt-%	Base Number (mg KOH/g)	Sulf. Nitrogen ppm	TGA Nitrogen ppm	Acid Number (mg KOH/g)
LM1-S	32.3	42.2	19.9	5.9	3.41	774	829	0.32
LM2-S	27.9	38.7	14.9	8.9	3.11	792	854	0.44
NM1-C	36.5	27.9	22.4	5.9	3.75	897	921	0.27
NM2-C	32.4	36.3	19.2	5.9	3.96	452	1909	0.262
NM3-S	40.9	46.5	11.9	1.5	3.48	847	904	0.13
NM4-S	27.5	36.4	21.4	4.7	3.98	882	1449	0.282
NM5-S	45.5	49.2	11.3	2.9	3.19	792	2578	0.48
NM6-S	48.9	41.4	12.1	1.3	3.09	745	2695	0.271
NM7-S	44.6	44.9	3.1	7.2	2.92	73	2546	0.249

Base Number
C: Meq/100 g

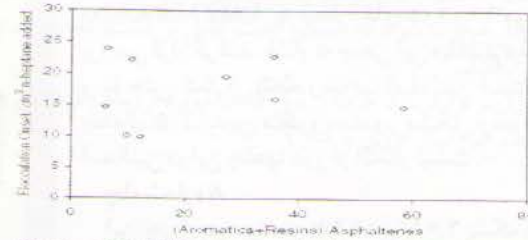


Fig. 1 a—Flocculation onset as a function of stability index (aromatics+resins)/asphaltenes.

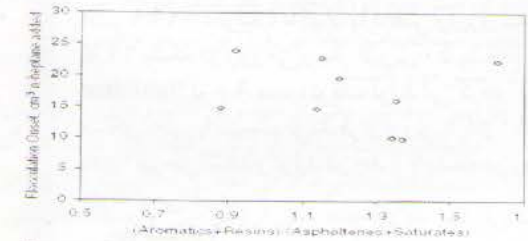


Fig. 1 b—Flocculation onset as a function of stability index (aromatics+resins)/(asphaltenes+saturates).

و ناپایدار تفاوت فاحش بین این پارامترهای ساختمانی (C/H و Fa و CI/CI) از خود نشان می دهند . به عبارتی آسفالتین حاصل از نفت ناپایدار میزان بیشتری از کسر هیدروژن ، آروماتیسسته ، تراکم بیشتر آروماتیکی و (Ar) بیشتری از نفت پایدار از خود نشان می دهند .

Wiehe and Liang نشان دادند که رابطه بین حلالیت و کسر C/H و MW وجود دارد . شکل ۱ بیانگر رابطه بین C/H و MW برای آسفالتین و رزین هر نمونه نفت خام است . اعداد موجود در بالای هر خط فاصله بین رزین و آسفالتین یک نمونه نفت را نشان می دهد . این فاصله را با (D) نشان می دهند . مقدار کوچک (D) یعنی شباهت بیشتر C/H و MW رزین و آسفالتین و این بیانگر آنست که آسفالتین و رزین با هم جورتر یا سازگارترند و رزین توانایی پایدار نگهداشتن آسفالتین در نفت را دارد .

پارامترهای ساختمانی و پایداری

پایداری معمولاً توسط میزان نرمال هپتان مورد نیاز جهت رسیدن به Flocculation onset بیان می شود . افزایش در پایداری چهار نوع نفت متناسب با افزایش نسبت C/H ، کاهش (Fa) و کاهش شدید CI/CI تغییر نموده است و همینطور کاهش (D)

TABLE 2—STRUCTURAL PARAMETERS OF ASPHALTENE AND RESIN FRACTIONS

Crude Oil	MW	H/C	Fa	CI/CI	Ar
Resin LM1	800	1.40	0.39	0.79	6
Asphaltene LM1	1308	1.22	0.46	1.48	14
Resin LM2	626	1.46	0.25	0.54	4
Asphaltene LM2	1158	1.11	0.59	1.92	14
Resin NM1	975	1.29	0.43	1.10	9
Asphaltene NM1	1621	0.96	0.60	2.09	23
Resin NM2	615	1.36	0.41	0.66	5
Asphaltene NM2	1212	0.99	0.60	1.72	17

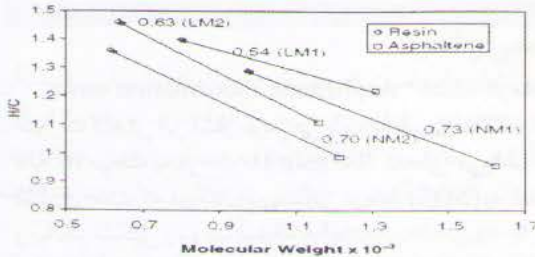


Fig. 2—H/C vs. MW for resins and asphaltenes.

"BA" به نفت، این فشار مطابق جدول ۴ به (2300 psig) برای نمونه نفت ۱ و ۲۰۰۰ برای نمونه نفت ۳ کاهش می یابد. فشار ته چاه برای دو نوع نفت به ترتیب ۴۰۰۰ (و 4823 psig) بیانگر آنست که این نوع "inhibitor" در محدوده وسیعی از فشار مخزن موثر عمل می کند، و از رسوب آسفالتین در نزدیکی مخزن جلوگیری می نماید.

بررسی تاریخچه چند چاه

در این مطالعه سه حلقه چاه از مخزن "Lake Maracaibo" به شماره های ۸ و ۹ و ۱۰ مورد بررسی قرار گرفتند. فشار ته چاهی این میدان نزدیک و یا حتی کمتر از نقطه رسوب آسفالتین است (جدول ۵). بدین منظور حضور مشکل رسوب آسفالتین در این چاهها دور از انتظار نیست.

چاه شماره ۸

این چاه در سپتامبر ۱۹۹۷ با ۴۸۱ بشکه در روز شروع به تولید کرد، و به ماکزیمم نرخ تولید ۱۴۹۲ بشکه در روز در اکتبر همان سال رسید. در اکتبر ۱۹۹۹، تولید، ناگهان با کاهش روبرو شد و به ۴۴ بشکه در روز می رسد. تزریق ۵۰ بشکه از "inhibitor" نوع A سبب توقف تولید می گردد. این مشکل حتی با سیستم تولید فراز آوری با گاز "gas lift" نیز حل نشده و تولید در حد ۷۱ بشکه در روز متوقف می شود.

چاه شماره ۹

تولید اولیه با نرخ ۱۵۰۳ بشکه در روز در سال ۱۹۹۷ (جدول ۶) آغاز شد، مطابق چاه قبلی، کاهش تولید رخ داده و به ۲۷۳ بشکه در روز می رسد و در آوریل ۲۰۰۰ تولید متوقف می شود. برای از سرگیری تولید میزان ۴۵۰ بشکه "inhibitor" از نوع "BA" که عملکرد آن هم در شرایط آتمسفریک و هم در شرایط مخزن مناسب تشخیص داده شده بود با نسبت ۲۱٪ حجمی با حلال "gasoil" به داخل سگازند تزریق می شود. تولید ۱۰۳ بشکه در روز افزایش می یابد و تغییر در رژیم از تولید طبیعی به فراز آوری با گاز این تولید به ۱۲۷۴ بشکه در روز می رسد. اما تولید بعد از سه ماه ناگهان متوقف می شود.

چاه شماره ۱۰

تولید از این چاه با نرخ ۳۳۵۰ بشکه در روز، در سال ۱۹۹۶ مطابق جدول ۶ آغاز می شود، به تدریج در ژوئن ۱۹۹۹ به ۷۶۰ بشکه در روز کاهش می یابد و پنج ماه بعد تولید کاملاً متوقف می شود. ۲۰ بشکه "inhibitor" از نوع "BA" به داخل مخزن تزریق می شود. بلافاصله تولید با ۷۱۵ بشکه در روز از سر گرفته می شود و تا هم اکنون ادامه دارد. همانگونه که مشاهده می شود حداقل سه

TABLE 3. COMMERCIAL ASPHALTENE DISPERSANT EVALUATION AT ATMOSPHERIC CONDITIONS

Crude	Asphaltenes Flocculation Onset (n-heptane mL)			
	Reference	EA	BA	P2
OIL 1	27.14	>50	>50	21.12
OIL 3	28.70	>50	>50	22.74
OIL 7	18.22	22.55	>50	14.93

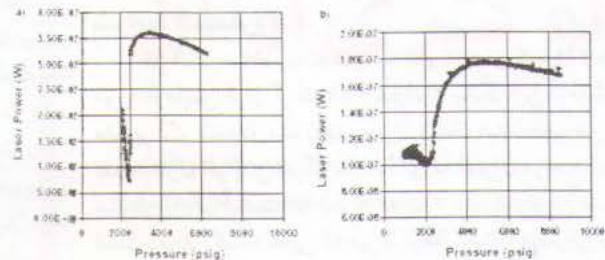


Fig 3. Asphaltene deposition onset vs. Pressure (psig) for OIL 1 and OIL 3

TABLE 4. EFFECT OF "BA" ASPHALTENE INHIBITOR ON THE FLOCCULATION ONSET AT RESERVOIR CONDITIONS

Crude	Asphaltene Flocculation Onset (psig)	
	Reference*	Asphalted*
OIL 1	2300	2300
OIL 3	4800	2000

* Oil sample without inhibitor. † Oil sample with 300 ppm of BA

TABLE 5. CHARACTERISTICS OF WELLS 8, 9 AND 10[†]

Well	Depth (ft)	Bottomhole Pressure (psia)
8	1620	300
9	1700	200
10	1660	400

[†] Reservoir Pressure = 5000 psig

TABLE 6. TREATMENT EFFECT ON THE PRODUCTION RATES OF WELLS 8, 9 AND 10

Well	Initial Production Rate		Production Rates Before Treatment		Treatment Conditions	Production Rates After Treatment		
	Date	Stbkt/d	Date	Stbkt/d		Date	Stbkt/d	
8	10/18/1997	1492	12/16/1999	41	Inhibitor A	50	01/21/2000	0
			01/15/2000	252			10/06/2000	71*
							11/24/2000	153*
9	05/03/1997	1503	12/29/1999	272	Inhibitor BA [†]	450	04/29/2000	80
			04/12/2000	0			05/23/2000	1274*
							08/10/2000	0*
10	11/11/1998	3350	07/04/1999	760	Inhibitor BA	20	01/13/2000	715
			12/04/1999	0			10/28/2000	521
							11/24/2000	775*

* Gas Lift. † Last Field Data. ‡ Treatment included 21.5% of Solvent Gasoil. § Casing Fracture

"Asphaltene Flocculation onset"

است. اثر ماده افزودنی موثر به صورت کاهش این فشار ظاهر می شود به طوری که فشار از فشار اولیه (psig) 6500) مرحله به مرحله تا (300 psig کاهش می یابد. فشار (3300 psig) فشاری است که سبکنال در سافتی توسط (SDS) به شدت کاهش می یابد و بیانگر تشکیل رسوب آسفالتین است. لذا فشار مطمئن جهت تولید از این چاه فشارهای بالای (4000 psig) است که نفت در آن پایدار است. با افزودن ماده معلق کننده آسفالتین از نوع

توپکهای سیمانی موثر

ترجمه: محسن یآوری

سیمانکاری صحیح و کامل در هنگام احداث فونداسیونها یا ساخت جاده ها، راهی کلیدی برای یکپارچگی سازه و کنترل هزینه ها است. بدیهی است که حفاری و تکمیل چاهها نیز از این قاعده مستثنی نیستند.

ایجاد یک توپک سیمانی درست و کامل در دهه اول عملیات سیمانکاری، بسیار مهم است زیرا هزینه های ایجاد توپکهای سیمانی بعدی بسیار بالا است به طوری که ساخت یک توپک سیمانی ثانویه ۶۰۰ فوتی (۱۸۳ متری) در دریای شمال در عمق ۸۰۰۰ فوتی (۲۴۴۰ متری) در یک چاه قائم هشت و یک دوم اینچی، به طور معمول هزینه ای بالغ بر ۲۱۰ هزار دلار آمریکا دارد و با فرض این که از یک دکل نیمه شناور (با اجاره ۱۲۰ هزار دلار برای هر روز) استفاده شود، هزینه های جاری به شکل زیر قابل تفکیک خواهند بود:

* دوره لوله رانی به منظور حفاری توپک سیمانی آسیب دیده اول

هزار دلار آمریکا

* دوره لوله رانی به منظور ایجاد توپک سیمانی دوم

هزار دلار آمریکا

* زمان انتظار برای بستن سیمان

هزار دلار آمریکا

* راندن رشته حفاری به داخل چاه به منظور حفاری توپک سیمانی دوم

هزار دلار آمریکا

طراحی و اجرا

تجربه نشان داده است که عملکرد توپکهای سیمانی، بستگی زیادی به طراحی و اجرای صحیح آنها دارد. بر همین اساس در طراحی باید به ارزیابی چاه، دستورالعمل مکتوب، تست های آزمایشگاهی، طراحی دوغاب و مشخصات فاصله انداز توجهی خاص معطوف شود.

همچنین لازم است توجه ویژه ای به آلودگی سیمان در بخش فوقانی توپک سیمانی (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ فوتی (۳۰ تا ۶۱

توجه قرار گیرند.

* نوع ماده شیمیایی باید در آزمایشگاه روی نفت آزمایش شود و اگر امکان مالی و شرایط چاه اجازه بدهد روی نمونه نفت زنده از ته چاه نیز تست صورت پذیرد تا سازگاری ماده شیمیایی با نفت مورد ارزیابی قرار گیرد.

* اگر لازم است حلالی به همراه "inhibitor" به کار برود باید حداقل ۷۰٪ وزنی آن همخوانی با ترکیبات آروماتیکی داشته باشد. استفاده از "kerosen" یا "gasoil" با پارافین بالا، راندمان "inhibitor" را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد و این یعنی ممکن است باعث رسوب آسفالتین حتی در محیط متخلخل داخل مخزن شود که ممکن است قابل برگشت به حالت اولیه نیز نباشد.

* رژیم تولید باید حتما از قبل کاملا مورد ارزیابی قرار گیرد (به خصوص فراز آوری با گاز)

نتیجه گیری

۱) استفاده از ترکیب نفت خام به عنوان یک کلید جهت تشخیص پایداری نفت باید مورد تجدید نظر قرار گیرد فاکتورهای دیگری همچون مشخصات آسفالتین و رزین نیز در بعضی از نمونه های نفت بسیار مهم هستند.

۲) خواص آسفالتین یکی از مهمترین فاکتورهای ناپایداری نفت است. مشخصات ساختمانی و ترکیبی آسفالتین، رسوب گذاری آن را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. آروماتیسیته بالا، هیدروژن کم و تراکم بالای حلقه های آروماتیکی از مشخصه های نفت ناپایدار بودند و برعکس.

۳) اندیس "D" شباهت C/H و MW نیز رل مهمی در پایداری آسفالتین بازی می کند.

۴) "inhibitor" ابتدا باید در شرایط آتمسفریک توسط تیتراسیون، سپس در شرایط دمایی و فشاری مخزن مورد ارزیابی قرار گیرد تا بهترین نوع برای عملیات انتخاب گردد. ۵) فاکتورهای دیگری نظیر حلالها و رژیم تولید نیز باید جهت جلوگیری از رسوب آسفالتین مورد توجه قرار گیرند. زیرا تماس ترکیبات پارافینی با سیال و محیط متخلخل سبب رسوب آسفالتین می شوند.

۱) Saturates, Aromatics, Resins, Asphaltenes

۲) تعداد کربن های حلقوی موجود به تعداد کربن های کل در ترکیب مورد نظر AROMATICITY

۳) CI تعداد کربن های حلقوی که به صورت پل بین حلقه ها عمل می کنند و C₁ تعداد کربن های جانبی که خارج از این پل قرار دارند.

۴) Solid Detection System

منابع:

- 1-Aspalten Stability in Crude oils (SPE 72050)
- 2- Production Restarting on Asphaltene-plugged oil wells in lake maracaibo Reservoir (SPE 69513)
- 3- OCCAM:Onset-Constrained Colloidal Asphaltin Model (SPE 58724)