تحقیق در علوم و مهندسی نفت،
سال شانزدهم، شماره ۵۴
صفحه۵۳-۴۲، ۱۳۸۵

کنترل افت صافی سیالات حفاری پایه آبی در دمای بالا

محمد سلیمانی و علیرضا مرتضوی
مرکزمطالعات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت
soleymanim@ripi.ir

چکیده

آزمایشات انجام گرفته بر روی پلیمرهای مصنوعی نشان می‌دهند که این نوع پلیمرها می توانند افت صافی را در دمای بالا (۴۰۰ ^{o}F) برای گل‌های حفاری آزمایشگاهی (آب نمک اشباع بدون خاک رس) و همچنین گل های سر چاهی (کم جامد آلوده شده با کنده‌های حفاری و نمک های سدیم و کلسیم) کنترل کنند. افت صافی برای این نوع از گل ها در دمای ^{o}F ۴۰۰ و در فشار بالا و در حضور پلیمر نوع سولفوناتی بایستی کمتر از ۱۵ میلی لیتر در ۳۰ دقیقه باشد. علاوه بر آزمایش های انجام شده در آزمایشگاه، از این پلیمرها در دو چاه دریایی با دمای ^{o}F ۴۰۰ که حاوی لایه ها نمکی سدیمی و کلسیمی بودند استفاده شد که نتایج مطلوبی به دست آمد. گل های پتاسیمی با وزن ۱۸ پوند بر گالن مداوا شده با پلیمر نشان داد که در برابر حرارت و مواد جامد و سیمان کاملاً مقاوم و پایدار می شد.

واژه های کلیدی

چاه های حفاری،
سیالات حفاری،
خواص رئولوژی،
پلیمر حفاری،
آلودگی سیالات حفاری

مقدمه

مواد افزودنی نوع گل های پایه آبی نیز که در چاه های گرم و عمیق مورد استفاده قرار می گیرند با محدودیت مواجه می‌شوند. این مشکل زمانی تشدید می‌شود که گل در تماس با آلاینده‌هایی از قبیل خرده‌های حفاری و نمک های سدیمی و کلسیمی باشد. بنابراین نیاز به ماده‌ای که بتواند این محدودیت ها را از بین برده و مشکلات را مرتفع سازد، محسوس است. برای غلبه بر مشکلات حفاری در چنین چاه هایی و نیز جلوگیری از آلوده شدن گل در برابر آلاینده‌ها از کوپلیمر مصنوعی سولفونات استفاده می شود، که هم بر عملکرد رئولوژیکی گل تاثیر گذاشته و هم افت صافی تحت شرایط چاه را کنترل می‌کنند.

افت صافی گل حفاری

گل حفاری از مهمترین عواملی است که بر هزینه‌های حفاری تاثیر دارد، بنابراین برای جلوگیری از افزایش هزینه ، گل را باید طوری طراحی کرد که با شرایط دما و فشار چاه سازگار بوده و با افزایش عمق و زیاد شدن دما و فشار چاه، خواص رئولوژیکی و افت صافی آن تغییر نکرده و پایدار بماند. افت صافی سیالات حفاری اصطلاحا به ورود فاز مایع درون سازند و ایجاد اندود در روی دیواره توسط فاز جامد اطلاق می شود. عوامل دیگری مانند خرده‌های حفاری، سیمان، آب های موجود در سازند با ترکیبات نمکی و اسیدی باعث تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی گل می‌شوند، البته تاثیر این آلودگی ها در دما و فشار پایین چندان زیاد نبوده و می توان با افزونی هایی، تاثیر آنها را تا حد مطلوبی کاهش داد. در دما و فشار بالا، حفظ پایداری خواص رئولوژیکی آسان نیست و در حقیقت دما یکی از عوامل آلوده کننده گل می باشد. بنابراین طراحی نوع گل سازگار با این شرایط بسیار حائز اهمیت است. با کنترل افت صافی، می توان در لایه های نفوذپذیر، از افزایش

ضخامت اندود صافی جلوگیری کرد. با افزایش افت صافی، تنگی چاه، تورم لایه های شیلی و گیرکردن لوله‌ها و نیز مشکل تعبیر نمودارهای الکتریکی اتفاق می افتد.

کنترل کننده‌های افت صافی

معروف ترین این مواد، خاک های رس (بنتونایت، آتاپولگایت، سپیولایت) و پلیمرهای طبیعی (نشاسته، لیگنایت، CMC HEC وPAC) بوده که ازلحاظ اقتصادی مقرون به صرفه بوده و تاثیر مطلوبی در کنترل افت صافی دارند. از پلیمرهای مصنوعی مانند PHPA [1] و PA [2] که عملکرد مطلوب در مکانیزم هایی مانند ساختار اندود صافی، افزایش گرانروی، پوشاندن سطح رویی جامدات، واکنش با خاک های رس و نیز ایجاد پل در نواحی نفوذپذیر دارند نیز استفاده می شود [۱]. محدوده مقاومت حرارتی و نیز واکنش در برابر الکترولیت های مختلف در جدول ۱ مشاهده می شود.

کارایی پلیمرها در پایدار نگه داشتن خواص رئولوژیکی و کنترل افت صافی دردمای ^{o}F ۳۵۰ کاهش می یابد.

کاهنده صافاب پایدار در برابر الکترولیت ها و درجه حرارت

پلیمرهای PHPA و PA تا ^{o}F ۳۵۰ پایدار می باشند، استحکام وینیل به ویژه وجود پیوند کربن- کربن در آنها باعث می شود که در برابر درجه حرارت و فرسایش هیدرولیتی مقاومت کنند. این پلیمرها در حضور کاتیون های دوظرفیتی و به دلیل یون های کربوکسیلیت، تحمل محدودی داشته و در حرارت و pH بالا میزان تحمل به سبب هیدرولیز قلیایی گروه های اکریل آمید کاهش می یابد (شکل ۱).

در سیالات آبی اشباع از نمک آب سیال در pH حدود ۸-۷، عمل هیدرولیز تا حالتی که محصول واکنش گروه های کربوکسیلیت را افزایش دهد، گسترش می یابد. از نظر تحلیلی، دو گروه عمده یعنی وینیل و اکریل آمید برای کاهش افت صافی مفید می باشند. به منظور تحمل در برابر کلسیم و سایر یون های دو ظرفیتی، گروه های اکریل آمید بایستی به منظور جلوگیری از صابونی شدن در قلیائیت زیاد سیالات حفاری، محافظت شوند. مولکول بایستی دارای زنجیر طولانی یا وزن مولکولی بالا بوده که بتواند ذرات جامد را پوشش داده یا پلی روی آنها ایجاد کند. لذا از پلیمرهای مصنوعی وینیل سولفونات وینیل آمید با وزن مولکولی ۷۵۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰ به همین منظور استفاده می شود. در این ماده، گروه های آمید و استحکام وینیل با گروه های عمده غیرصابونی تکمیل می‌شود. گروه های سولفوناتی با قدرت و تراکم باری قوی به پلیمر اجازه می دهد که کاتیون های دوظرفیتی را محدوده ساخته و به عنوان پایدار کننده خواص رئولوژیکی به کار رود (جدول ۲). هیچ نوع پلیمر مصنوعی دیگری با چنین خاصیت دوگانه، به ویژه در حفاری چاه های گرم و در حضور نمک های غیر محلول شناخته شده نیست. کوپلیمر استایرن در محیط های گرم، از انعقاد خاک های رس جلوگیری کرده ولی افت صافی را کنترل نمی‌کند [۲].

بررسی آزمایشگاهی

پایداری حرارتی در گل های نمکی

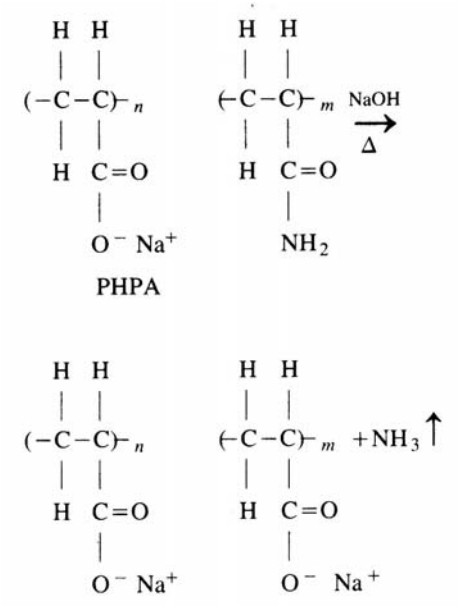
برای بررسی این خاصیت در آزمایشگاه، گل حفاری با آب نمک اشباع و بدون خاک رس با ترکیبات زیر تهیه شد که شرایط آزمایش وخواص رئولوژیکی و افت صافی API اندازه گیری شده که در جدول ۳ مشاهده می شود.

نشاسته سیب زمینی، ویسکوزیته و افت صافی گل های آب نمک اشباع را تا ^{o}F ۲۰۰ کنترل می‌نماید. در گل حفاری نگهداری شده به حالت سکون در ^{o}F۲۵۰، علائمی از تجزیه و دگرگونی ویسکازیفایرها و افزایش در افت صافی مشاهده شد. در ^{o}F ۳۰۰، عدم کنترل صافاب و pH پایین، حاکی از تجزیه

1. Partially Hydrolized Polyacryl Amide
2. Poly Acrylate

جدول ۱- محدوده پایداری حرارتی کاهنده های افت صافی

ماده	پایداری حرارتی (^oF)	واکنش با الکترولیت ها
بنتونیت	۳۰۰	کلوخه و انعقاد در حضور یون کلسیم(۵ meq/l)
نشاسته	۲۰۰	پایدار در حضور نمک ها و آب های شور در شرایط قلیایی با کلسیم رسوب می دهد
لیگنوسولفونات های فلزی	۳۵۰	به کلسیم و منیزیم حساس است
لیگنایت	۳۵۰	" " " "
PAC , CMC	۲۵۰	محدود به درجه جایگزینی (۵۰۰ ppm کلسیم برای درجه جایگزینی کمتر از ۰/۹)
HEC	۲۵۰	حساس به کلسیم و منیزیم
PA/PHPA	٤۰۰	حساس به کلسیم (۳۰۰-۱۰۰ ppm)



شکل ۱- ساختار شیمیایی پلیمر ها

جدول ۲- خواص پلیمری کاهنده افت صافی و پایدار کننده خواص رئولوژیکی

وزن مولکولی	شکل	تجزیه	محدوده نمک(ppm)		پایداری حرارتی (فارنهایت)
			$CaCal_2$	NaCl	
۷۵۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰۰	پودر ریز و سفید	به آسانی در آب شیرین و سخت پخش می‌شود	تا ۲۰۰۰۰۰ و یون کلسیم (Ca^{++}) برابر ۷۵۰۰۰	تا حد اشباع	۴۵۰

جدول۳- ترکیب گل حفاری تهیه شده (وزن سیال فوق ۱۰/۵ پوند بر گالن می باشد)

ماده	آب مقطر (بشکه)	نمک طعام (پوند بر بشکه)	نشاسته (پوند بر بشکه)	کربنات کلسیم (پوند بر بشکه)
مقدار	./۸۹	۱۱۰	۸	۳۸

جدول۴- پایداری حرارتی سیالات حفاری کم جامد و بدون خاک رس

خواص	گل پایه			گل پایه +4lb/bbl پلیمر سولفوناتی		
	رول ۳۰۰ °F	استاتیک		نرمال ۱۵۰°F	استاتیک	
		۲۵۰°F	۳۰۰°F		۳۰۰ °F	۳۵۰ °F	۴۰۰ °F
PV (Cps)	۹	۷	۸	۱۴	۱۰	۲	۲
YP ($1b/100ft^2$)	۱۴	۱۱	۱۰	۱۴	۸	۲	۱
ژل ($1b/100ft^2$) (۱۰ثانیه)	۶	۴	۳	۶	۲	۱	۱
ژل ($1b/100ft^2$) (۱۰دقیقه)	۷	۴	۴	۷	۲	۱	۱
pH	۶/۹	۶/۸	۶/۱	۷	۶/۳	۶/۸	۷/۴
افت صافی API (ml/۳۰Min)	۹/۲	۱۵/۵	بدون کنترل	۹/۶	۷/۸	۵/۶	۶/۲

جدول۵- میزان پخش اندازه ذرات جامد در گل

مواد افزودنی و خواص گل	واحد	A	B
آب مقطر	بشکه (bbl)	۰/۸۹	۰/۸۹
نمک طعام	پوند بر بشکه (PPb)	۱۱۰	۱۱۰
نشاسته سیب زمینی	پوند بر بشکه (PPb)	۸	-
کربنات کلسیم ($CaCO_3$)	پوند بر بشکه (PPb)	۳۸	۳۸
پلیمر وینیل سولفونات ونیل آمید	پوند بر بشکه (PPb)	-	۴
وزن گل	پوند بر گالن (ppg)	۱۰/۵	۱۰/۵
افت صافی قبل از حرارت	میلی لیتر بر ۳۰ دقیقه	۵/۸	۷/۲
متوسط اندازه ذرات	میکرون	۲۰/۸	۱۶/۹
افت صافی استاتیکی (۳۰۰°F تا ۱۶ ساعت)	میلی لیتر بر ۳۰ دقیقه	بدون کنترل	۷/۲
متوسط اندازه ذرات	میکرون	۱۶/۴	۱۶/۳

کامل این نوع نشاسته می باشد. به عبارت دیگر افزودن پلیمر سه گانه وینیل سولفونات وینیل آمید، افت صافی گل نگهداری شده در ۴۰۰ °F را کنترل می کند. در جدول ۵ نتایجی از تغییر در اندازه ذرات کنترل کننده افت صافی بهبود یافته مشاهده می شود.

نشاسته تا ۲۰۰ °F می تواند ویسکوزیته و افت صافی چنین گل اشباع از آب نمک را کنترل کرده ولی بالاتر از این دما دیگر قادر نیست خواص گل را به طور موثر کنترل کند، زیرا که در دماهای بالاتر تخمیر شده و می سوزد و از بین می رود. اما با استفاده از پلیمر وینیل سولفونات وینیل آمید، نتیجه افت صافی

حالت استاتیکی[1] در ^{o}F ۳۰۰ میزان قابل قبولی است. نشاسته با ایجاد لایه‌ای در اطراف ذرات جامد گل، آنها را به صورت کپسول نگه می‌دارد. با افزایش حرارت لایه نشاسته سوخته از بین می‌رود و در نتیجه خواص رئولوژیکی گل کاهش یافته و افت صافی کنترل نمی شود در صورتی که با استفاده از پلیمرهای دیگر با تغییرات دما اندازه ذرات داخل گل نمکی تغییر نکرده و کاهش نمی یابد. بنابراین خواص رئولوژیکی و افت صافی پایدار خواهد ماند. در جدول ٥ یک گل اشباع از آب نمک با وزن ۱۹ پوند بر گالن که برای چاه های با دمای بالا طراحی شده به همراه مواد لازم و نتایج و خواص گل ساخته شده بیان شده است.

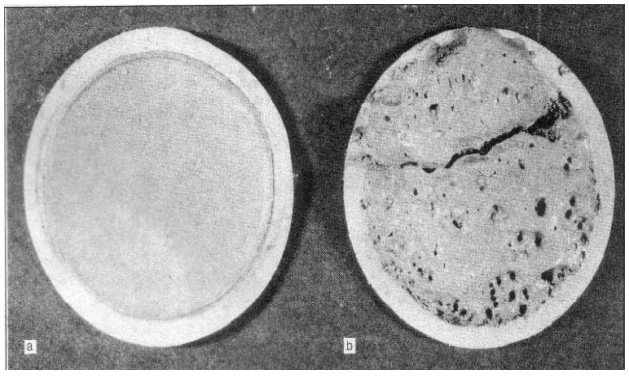
پلیمرسولفوناتی، صافاب را در هر دو حالت API و HPHT در دمای ^{o}F ۴۰۰ پایین نگه داشته و بدون حضور آن کاهش شدید در pH و افت صافی در اثر تجزیه و از بین رفتن رزین مصنوعی و لیگنو سولفو نات مشاهده می شود.

بررسی آلودگی شیمیایی گل در دمای بالا

برای مقایسه بین دو پلیمر سولفوناتی و PHPA، گل حفاری سبک کم جامد و با نمک ها و خرده های حفاری ساخته شد (جدول٦). این گل در برابر آلودگی های نمک و مواد جامد، بسیار حساس بوده و به خوبی این آلودگی را در دمای بالا نشان می دهد .

در مورد سیالات حفاری پایه آبی، پلیمر توسط فعل و انفعالاتی که با ذرات رسی درون گل انجام می دهد، افت صافی را کنترل و متعاقب آن ویسکوزیته را افزایش می دهد. آب موجود در گل سبب می شود پلیمر یونیزه شده و مولکول های آب در لابه لای یون های کربوکسیل و سدیم قرار می گیرند که این عمل باعث افزایش ویسکوزیته سیال می شود. غلظت بالای نمک سدیمی، یونیزه شدن آن را محدود کرده واین عمل به طور کامل صورت نمی‌پذیرد در نتیجه ویسکوزیته و افت صافی کاهش می‌یابند. کنترل ویسکوزیته و افت صافی در گلی که حاوی نمک کلسیمی است، مشکل تر است زیرا یون کلسیم با یون کربوکسیل پلیمر PHPA واکنش نشان داده و پلیمر را درون سیستم رسوب می دهد. آلودگی های زیاد شیمیایی و دمای بالا، باعث عدم واکنش آب با بنتونیت و کلوخه‌ای (انعقاد) شدن سیستم شده و لذا افت صافی زیاد می‌شود. افت صافی با افزودن مواد جامد و پلیمر قابل کنترل است.

آزمایش مقایسه اثر این پلیمر با پلی آنیونیک سلولز در جدول ۸ آورده شده است. با افزودن ۳ پوند بر بشکه از دو نوع پلیمر، خواص رئولوژیکی در هر دو گل تا حدودی شبیه به هم هستند اما افت صافی نمونه گل سلولزی (PAC) در دمای غلظان ^{o}F ۱۵۰ بهتر از نمونه گل حاوی سولفوناتی است زیرا پلیمر اول با ضخیم کردن اندود صافی و ارتباط ذرات جامد با هم مانند پلی آنها را به هم متصل ساخته در حالیکه پلیمر دوم فقط با ذرات رس داخل گل واکنش داده است. بعد از ١٦ ساعت نگهداری در دمای ^{o}F ۳۵۰، پلیمر PAC به طور کامل خواص شیمیایی و اولیه خود را از دست داده و از بین می رود که کاهش ویسکوزیته گل بیانگر این مطلب است. کاهش کارایی ظاهری پلیمر تنها به دلیل از بین رفتن PAC نیست بلکه به دلیل برقراری پیوند مستحکمی است که پتاسیم و رس به وجود آمده است.



شکل ۱- اندود صافی گل هایی حاوی این دو پلیمر را نشان می دهد.[۳]

1. Static Aging

جدول٦- ترکیبات و خواص رئولوژیکی گل اشباع از نمک یا وزن PPG ۱۹

		واحد	گل		خواص رئولوژیکی گل حفاری			
			۱	۲	۱		۲	
					اولیه	رول F ٤٠٠	اولیه	رول F ٤٠٠
ترکیبات	آب نمک اشباع	بشکه (bbl)	۰/٦۳	۰/٦۳				
	خاک رس نمکی	پوند بر بشکه	۳	۳				
	بنتونایت	“	۱۰	۱۰				
	رزین مصنوعی	“	٦	٦				
	پلیمرسولفوناتی	“	–	٦				
	کروم لیگنوسولفونایت	“	۳	۳				
	کربنات کلسیم	“	٥	٥				
	هیدرواکسید سدیم	“	۰/٥	۰/٥				
	باریت	“	٥۲٥	٥۲٥				
خواص رئولوژیکی گل	درجه حرارت	فارنهایت	–	–	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
	وزن گل	پوند بر گالن	–	–	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹
	دور ٦۰۰	RPM	–	–	٦۹	٦۷	۲٤٤	۹۷
	دور ۳۰۰	“	–	–	٤۲	٤٥	۱٤۳	٥۱
	پلاستیک ویسکوزیته	CPS	–	–	۲۷	۲۲	۱۰۱	٤٦
	نقطه واروی	$lb/100ft^2$	–	–	۱٥	۲۳	٤۲	٥
	استحکام ژله‌ای ۱۰ ثانیه	“	–	–	۲۱	۲٦	۲۰	۳
	استحکام ژله‌ای ۱۰ دقیقه	“	–	–	٦۸	۳۳	٥۱	۷
	افت صافی API	cc/۳۰Min	–	–	–	بدون کنترل	–	۳/۲
	افت‌صافی HPHT (٤٠٠°F و ٥۰۰psi)	“	–	–	–	بدون کنترل	–	۱٥
	pH		–	–	۱۰/۱	۷/۱	۹/٦	۸/۲

جدول۷- تاثیر نمک ها روی خواص سیالات حفاری کم جامد Non Dispersed

خواص رئولوژیکی						مواد افزودنی (ppb)					گل حفاری
سکون۱٦ ساعته در ٤۰۰°F				چرخش ١٦ ساعته در ١٥٠°F				جامدات حفاری	PHPA	VSVA	$CaCl_2$	NaCl	
افت صافی ml/۳۰min	ژل ۱۰ دقیقه lb/۱۰۰ft²	ژل۱۰ ثانیه lb/۱۰۰ft²	نقطه واروی l b/۱۰۰ft²	افت صافی ml/۳۰min	ژل ۱۰ دقیقه lb/۱۰۰ft²	ژل ۱۰ ثانیه lb/۱۰۰ft²	نقطه واروی lb/۱۰۰ft²						
٥	–	–	–	٤	–	–	–	۱۰	–	٥	–	–	۱
٥	–	–	–	٤	–	–	–	۱۰	٥	–	–	–	۲
۲٤	۷	۲	٦	۱٤	٥	۲	۸	۱۰	–	٥	۳٥	۳٥	۳
۷۱	٦۸	٥۹	۱۲۰	٦٤/٥	۳۷	۳۷	٦۷	۱۰	٥	–	۳٥	۳٥	٤
۷۲	٥۰	٤۸	۸٦	–	٤٥	٤٥	۹۰	۱۰	–	–	۳٥	۳٥	٥

جدول۸- مقایسه کارایی پلیمرهای ونیل سولفوناتی و پلی آنیونیک سلولز

افزودنی و خواص رئولوژیکی	واحد	خواص رئولوژیکی اولیه						چرخش ١٦ ساعته در ١٥٠°F		ساکن ١٦ ساعته در ۳٥۰°F	
		نمونه						نمونه		نمونه	
		۱	۲	۳	٤	٥	٦	٥	٦	٥	٦
KCl	pbb	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۰
بنتونایت	“	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
PAC	“	۱	–	۲	–	۳	–	۳	–	۳	–
VSVA	“	–	۱	–	۲	–	۳	–	۳	–	۳
٦۰۰	RPM	۸	۸	۲۸	۸	۷٤	۱۰	۸۰	۸	٦	٦
۳۰۰	“	٤	٤	۱٦	٥	٥۰	٦	٥۲	٥		۳
گرانروی ظاهری	CPS	٤	٤	۱٤	٤	۳۷	٥	٤۰	٤	۳	۳
گرانروی پلاستیکی	“	٤	٤	۱۲	۳	۲٤	٤	۲۸	۳	۳	۳
نقطه واروی	lb/100ft2	۰	۰	٤	۲	۲٦	۲	۲٤	۲	۰	۰
ژل ۱۰ ثانیه	“	۰	۰	۳	۰	۳	۰	۲	۰	۲	۰
ژل ۱۰ دقیقه	“	۰	۰	۳	۱	۳	۰	۲	۳	٥	۰
pH	-	–	–	–	–	–	–	۸/۳	۸/٤	۸/۳	۸/۲
افت صافی API	ml/30Min	–	–	–	–	–	–	۷/٦	۱۳	بدون کنترل	٤۲

که ایجاد رسوب می کند و در نتیجه نقطه واروی و استحکام ژله‌ای کاهش می یابد. استفاده از مقدار بیشتری از پلیمر و نیز ثابت نگه داشتن خواص رئولوژیکی، می تواند میزان افت صافی را کاهش دهد.

گل های حفاری بازدارنده و پایدار در برابر دما

معمولاً از گل های بازدارنده برای جلوگیری از تورم لایه های شیلی که حفاری در آنها با محدودیت هایی مواجه است، استفاده می شود. از جمله حساسیت هایی که این لایه ها دارند عبارتند از:

- ناپایداری در برابر گل های سنگین با محدوده کم نمک (به ویژه نمک های کلسیمی)
- میزان خورندگی بالا
- پایداری دمایی محدود
- احتیاج به مواد پراکنده ساز برای کنترل رئولوژی گل

برای مثال گل پتاسیمی با وزن زیاد ناپایدار بوده و نسبت به ذرات جامد و خرده های حفاری که باعث آلودگی گل می شوند، بسیار حساس است. معمولاً در این نوع گل از پراکنده سازها یا تینرها استفاده می شود. محدودیت دما در مورد این نوع از گل ها باید مشخص شود زیرا تینرها و کنترل کننده های افت صافی در دماهای بالاتر از ^{o}F ۳۵۰ دیگر موثر نخواهند بود.

عملکرد ترکیبات گل پتاسیمی

در آزمایشگاه مواد تشکیل دهنده گل پتاسیمی با وظایف مختلف با آب دریا یا آب شیرین ساخته می شود:

استات پتاسیم به عنوان نمک بازدارنده برای افزایش پایداری لایه شیل و حل مشکلات حاصل از عملیات نمودارگیری در غلظت های بالای کلرید، بنتونیت پیش هیدراته یا خاک رس نمکی (برای بالا بردن ویسکوزیته) سپیولیت (ویسکوزیفایر در دماهای بالا)، وینیل سولفونات وینیل اکریل آمید (کاهنده افت صافی و پایدار کننده رئولوژی گل)، هیدروکسید پتاسیم (کنترل pH) و کلرید پتاسیم (پایداری لایه شیل) و باریت برای افزایش وزن استفاده می شوند .گل ساخته شده با وزن ppg ۱۸/۶-۸/۶ و به ازای مصرف ۳ پوند بر بشکه پلیمر، دارای خواص رئولوژیکی و افت صافی مناسب می باشد[۲]. از لحاظ تاثیر آلودگی ذرات جامد بر این گل در مقایسه با سیستم پتاسیمی می‌توان گفت ۱۵٪ (۵۲/۵ پوند بر بشکه) آلودگی ذرات جامد در این گل، افزایشی در نقطه واروی و استحکام ژله ای ندارد (جدول۹).

نتایج نشان می‌دهد که در ۱۰۵ پوند بر بشکه از ذرات جامد خواص رئولوژیکی افزایش می یابد اما باز هم می‌توان خواص گل را تغییر و آنرا با پلیمر اضافی درمان کرده و دوباره به داخل چاه پمپ کرد. سیالات با مواد جامد بالاتر نسبت به درجه حرارت پایدار هستند. به عنوان مثال در وزن ppg ۱۴ و با ppb ۳۵ از مواد جامد حفاری، زمانی که به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۳۵۰ درجه فارنهایت به طور ساکن نگهداری شوند، دارای نقطه واروی ۶ و استحکام ژله‌ای $lb/100ft^{2}$ ۵ و ۲ می باشد. میزان pH در ۹/۱ ثابت مانده و افت صافی پایین نگهداشته می شود. با تعقیب تغییرات خواص رئولوژیکی با درجه حرارت از گل حفاری ppg ۱۴ با خواص زیر استفاده شد [۳].

لازم به توضیح است افت صافی HPHT در ^{o}F ۴۰۰ و فشار psi ۵۰۰ اندازه گیری و از گرانروی سنج Fann تحت فشار و حرارت استفاده شد. نتایج در جدول ۹ مشاهده می شود.

نتایج نشان می دهد با افزایش فشار و با سرد کردن مجدد نمونه تا ^{o}F ۷۵ میزان گرانروی افزایش می یابد در این حالت یکپارچگی سیال و پلیمر بعد از حرارت ^{o}F ٤٤٠ و فشار psi ۱۰۰۰۰ مجدداً ابقا می شود.

حساسیت نسبت به آلودگی سیمان

کوچکترین آلودگی حاصل از سیمان (کمتر از ۱٪) سبب ژل شدن گل آب پایه شده و اما در استفاده ازپلیمر سولفوناتی،

جدول ۹. فرمولاسیون سیالات حفاری، محدودیت به جامدات حفاری

استحکام ژله‌ای($lb/100ft^2$) ۱۰ دقیقه/۱۰ ثانیه		نقطه واروی ($lb/100ft^2$)		گل حفاری تهیه شده با آب دریا	
رول ۱٦ ساعته در 150^oF	اولیه	رول ۱٦ ساعته در 150^oF	اولیه	وزن سیال(PPg)	مواد جامد (lb/bbl)
۲/۲	۲/۲	۳	۲	۸/٦	۰
۱/۱	۱/۲	۰	۲	“	۱۰ /۵
۱/۳	۱/۱	۱	۲	“	۲۱
۱/۲	۰/۲	۱	۲	“	۳۵
۱/۳	۲/٤	٤	۲	“	۵۲/۵
۲/۳	۲/٤	٤	٦	۱۰	۰
۲/۳	۳/٤	٤	۸	“	۱۰/۵
۳/۳	۲/٤	٦	٤	“	۲۱
۲/۳	۲/٤	٦	٦	“	۳۵
۲/۵	۲/٦	٤	٦	“	۵۲/۵
۱/۳	۲/۳	٤	۲	۱۲	۰
۱/٤	۲/۳	٤	۰	“	۱۰/۵
۱/۳	۲/۳	٤	۲	“	۲۱
۲/۳	۲/٤	٤	٤	“	۳۵
۲/٦	۲/۵	٤	٤	“	۵۲/۵
۲/۵	۲/٤	۲	٤	۱٤	۰
۳/۵	۲/۳	۲	۰	“	۱۰/۵
۲/۵	۲/۵	٤	۳	“	۲۱
۲/٦	۲/۵	٤	٤	“	۳۵
۲/۷	۲/٦	٤	٦	“	۵۲/۵
٤/۱۲	۲/۱۳	۱۲	۱۰	“	۷۰
۵/۱۹	٤/۲۰	۱٦	۱٦	“	۸۷/۵
۸/۱۹	۵/۲۸	۲٦	۲۲	“	۱۰۵

جدول ۱۰. خواص گل حفاری تهیه شده

pH	افت صافی (cc/۳۰ min)		استحکام ژله‌ای		YP ($lb/100ft^2$)	PV cps	وزن PPG
	HPHT	API	ثانویه	اولیه			
۹/۵	۳٤	٦/٦	٤	۳	۸	۳۱	۱٤

جدول ۱۱- پایداری حرارتی سیال بازدارنده اطلاعات ویسکومتر

واحدهای دلخواه ویسکومتر	فشار (psi)	درجه حرارت (^oF)
۵۶	۱۰۰۰	۷۵
۴۴	۲۰۰۰	۱۰۰
۳۶	۴۰۰۰	۱۵۰
۳۰	۷۰۰۰	۲۰۰
۲۶	۸۰۰۰	۲۵۰
۲۴	۹۰۰۰	۳۰۰
۲۰	۹۵۰۰	۳۵۰
۲۰	۹۵۰۰	۳۷۵
۲۲	۱۰۰۰۰	۴۰۰
۱۲	۱۰۰۰۰	۴۴۰
۵۰	–	سرد شده تا ۷۵

جدول۱۲- میزان محدوده به آلودگی سیمان

خواص رئولوژیکی (چرخش در ۱۵۰^oF)				ترکیبات گل حفاری (پوند بر بشکه)											
پتاسیم(mg/l)	افت صافی API(ml/۳۰min)	ژل ۱۰ دقیقه ($lb/100\ ft^2$)	نقطه واروی ($lb/100ft^2$)	VSAضافی	سیمان	جامدات حفاری	باریت	ANSS	کاستیک سودا	پلیمر سولفوناتی	خاک رس نمکی	استات پتاسیم	نمک دریا	آب شیر (CC)	وزن سیال (PPg)
۱۰۳۰۰	۱۲/۲	۶	۶	–	–	۳۵	۳۰۰	۵	۰/۲۵	۳	۱۵	۸	۱۱	۲۷۹	۱۴
–	–	۱۳	۸	–	۱۰/۵	۳۵	۳۰۰	۵	۰/۲۵	۳	۱۵	۸	۱۱	۲۷۹	۱۴
۱۰۴۵۰	۱۰	۲۵	۲۲	–	۱۰/۵	۳۵	۴۱۰	۵	۰/۲۵	۳	۱۲/۵	۷/۲	۱۰/۶	۲۵۲	۱۶
–	–	۳	۴	۲	۱۰/۵	۳۵	۴۱۰	۵	۰/۲۵	۳	۱۲/۵	۷/۲	۱۰/۶	۲۵۲	۱۶
–	–	۷۶	۲۸	–	۱۷/۵	۳۵	۴۱۰	۵	۰/۲۵	۳	۱۲/۵	۷/۲	۱۰/۶	۲۵۲	۱۶

ANSS: Alkyl Naphthalene Sodium Sulfonate

پایداری گل های پتاسیمی در برابر سیمان با غلظت بالا افزایش می یابد.

مصرف ۳ پوند بر بشکه از پلیمرسولفوناتی، نقطه واروی و استحکام ژله‌ای سیال دارای ۵٪ سیمان را پایین نگه می دارد. افزایش کمی درYP و ژل گل با غلظت ppg ۱۴ (آلوده با ۱۰٪ ذرات جامد و ۳٪ سیمان) مشاهده می شود. خواص فوق برای گلی با وزن ppg ۱۶ آلوده با ۱۰٪ ذرات جامد و ۳٪ سیمان به ترتیب ۲۲ و ۲۵ بود که با مصرف ۲ پوند بر بشکه از پلیمر سولفوناتی این مقادیر تنزل کردند. توانایی این پلیمر در پایدار نگه داشتن خواص رئولوژیکی را مربوط به گروه سولفونات متصل به طرف مثبت رس آن می شود. در آلودگی هایی که توسط سیمان یا کلرید کلسیم به وجود می آید گروه سولفونات با کلسیم کمپلکس تشکیل و افزایش کمی سولفات و یسکوزیته را کاهش می دهد.

نتایج

پلیمرهای پایدار در دمای بالا سولفونات، در چاهی مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفتند. که از عمق ۱ تا ۲۱۰۶۸ فوت با گل سنگین که حاوی ۳۵-۴۰ پوند بر بشکه لیگنوسولفونات و بنتونیت بود، حفاری شد. در عمق ۱۹۰۰۰ فوت دمای ته چاه ۴۰۰ ^{o}F و آب نمک کلسیم کلراید تا ۱۴۷۵۰ppm و میزان کربناتppm ۲۰۰۰ بود و با وجود آلودگی و دمای بالا، کنترل افت صافی در این شرایط با مشکل مواجه بود.

افت صافی مطلوب در این شرایط ۸ میلی لیتر بر ۳۰ دقیقه است. برای کنترل افت صافی روزانه ۵ تا ۱۰ کیسه پلیمر به گل اضافه می شد. لذا می توان نتیجه گیری کرد که:

با استفاده از پلیمر سولفوناتی می توان از گل پایه آبی تا دمای ۳۵۰ ^{o}F استفاده کرد. این پلیمر نقش مهمی در کنترل افت صافی و ثابت نگه داشتن ویسکوزیته گل در دمای فوق و در حضور آلودگی ها ایفا می کند که توانایی زیاد در عمل آلودگی حاصل از ذرات سیمان و جامد دارد و در کاهش هزینه حفاری بسیار موثر است.

علایم و نشانه ها

AV = Apparent Viscosity
PV = Plastic Viscosity, cps
YP = Yield Point
GS = Gel Strength, Lb/100ft^2
FL = Filtration Loss, cc/30 min.
PPG = Pound Per Gallon
RPM = Round Per Minute
HPHT = High Pressure High Temperature
lb/bbl =ppb = Pound/Barrel,
CPs = Centy Poise

منابع

[1] R.D. Sydansk, *Stabilizing Clay with Potassium Hydroxide*, SPE Paper 1172, 1990.

[2] W.F. Rogers, *Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids*, Gulf Publishing Co., Houston, 1963.