Archive of SID

مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱ www.Reservoir.ir

بررسی تاثیر افت صافی و آب آزاد دوغاب سیمان در مهاجرت گاز : مطالعه موردی

آرین ولایتی[۱]، حمید سلطانیان[۲]، بهزاد تخم چی[۳] ، عزت الله کاظم زاده[۴]، یاسر پور مظاهری[۵]

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و بهره برداری نفت، دانشگاه شاهرود
Velayati.a@live.com

چکیده

بیش از دو دهه است که مساله نفوذ گاز داخل دوغاب سیمان حفاری ذهن پژوهشگران در سطح جهان را به خود مشغول کرده است. پدیده ای که باعث خسارات جانی و مالی شده و از اساسی ترین مشکلات صنعت حفاری است.این موضوع پژوهشی در مرز دانش قرار گرفته و هنوز پاسخ های قطعی به سوالات متعددی که در این زمینه وجود دارد داده نشده است.اگرچه امروزه عوامل بسیاری به عنوان فاکتور های تاثیر گذار در این مورد شناسایی شده اند اما طبق مطالعات و تجربه نویسندگان این مقاله دو پارامتر آب آزاد و افت صافی دوغاب مهم ترین موارد قلمداد می شوند. بنا بر این نتیجه گیری در این پژوهش تلاش شده ضمن معرفی تاثیرات عمده ای که این دو پارامتر در مکانیزم مهاجرت گاز دارند راهکارهایی برای بهینه سازی دوغاب ارائه شوند. در این مقاله علاوه بر مباحث نظری مطالعه موردی آزمایشگاهی گنجانده شده و روش انجام تحقیق به صورت میدانی و تجربی می باشد.

واژه‌های کلیدی: آب آزاد، افت صافی، فشار هیدرواستاتیک، هیدراتاسیون، مقاومت ژله ای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و بهره برداری نفت، دانشگاه شاهرود
۲- دانشجوی دکترا مهندسی معدن، دانشگاه شاهرود
۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود
۴-رییس پژوهشکده مهندسی نفت پژوهشگاه صنعت نفت
۵-کارشناس سیمان پژوهشگاه صنعت نفت

www.Reservoir.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در این مقاله درواقع موضوع مهاجرت گاز در دوغاب سیمان حفاری مورد مطالعه قرار گرفته است.این مشکل از خطرناک ترین و پیچیده ترین چالشهای پیش روی صنعت حفاری چاه های نفت و گاز بر شمرده می شود.یک مطالعه در سال ۱۹۹۵ میلادی نشان می دهد پانزده درصد از سیمانکاری های اولیه در ایالات متحده ناموفق هستند که حدود یک سوم آن بدلیل نفوذ گاز و سیالات درون سیمان می باشد.[1]

با کاهش فشار هیدرواستاتیکی ستون دوغاب سیمان در مرحله ی گذار از حالت مایع به جامد که ناشی از کاهش حجم آب در سیستم سیمان می باشد، ریسک نفوذ گاز بیشتر می شود. زمانی که بر اثر این افت فشار حالت فراتعادلی چاه تبدیل به فرو تعادلی شود واضحا سیال از منطقه پرفشار (سازند) به کم فشار (حفره چاه) مهاجرت می نماید.دوغابی که بتواند افت صافی و آب آزاد را کنترل کند می تواند تا حد زیادی از کارایی مناسب دوغاب در برابر نفوذ گاز اطمینان حاصل کرد.اگر چه این دو عامل تنها پارامترهای موثر در مکانیزم مهاجرت گاز نیستد و فاکتورهای متعدد دیگری در این زمینه نقش ایفا می کنند.

در گذشته با استفاده از روش بیکر و دستگاه مقاومت ژله ای مطالعاتی روی مشکل نفوذ گاز داخل دوغاب سیمان انجام شده است که البته دارای ایراداتی می باشند.به طور مثال روش بیکر متدی سرانگشتی بوده و در روش اندازه گیری مقاوت ژله ای سیمان نفوذ گاز عملا قابلیت اندازه گیری نبود.

در بسیاری از کارهای قبلی از دستگاه SGSA استفاده شده است.این دستگاه مقاومت ژله ای استاتیک سیمان را اندازه میگیرد و به این ترتیب در حل مشکل نفوذ گاز مفید است.[2]

در مطالعات قبلی تعدادی از افزایه ها برای مقابله با مشکل نفوذ گاز مورد بررسی قرار گرفته اند[3]،همچنین دلایل و روشهای مقابله با این مشکل شناسایی شده اند[4,5,6]و متدهای گوناگون و نوینی به عنوان راه حل معرفی شده اند.[7]

در این مقاله تمامی جنبه های این دو پارامتر مهم یعنی افت صافی و آب آزاد مورد بررسی قرار میگیرد و روشهای کنترل آنها نیز معرفی می گردد. همچنین مکانیزم مهاجرت گاز با توجه به این عوامل شرح داده می شود. مطالعه آزمایشگاهی نیز به پژوهش ضمیمه شده تا به صورت عملی روش آنالیز مورد استفاده نشان داده شود.

تحقیقات آزمایشگاهی ثابت کرده اند که سه نوع مهاجرت گاز از داخل فضای حلقوی رخ می دهند که با طراحی دقیق ترکیب سیمان قابل کنترل هستند.نوع اول فضای خالی موجود بین سیمان و لوله جداری است که در نتیجه آن گاز بین سیمان و لوله جداری مهاجرت می کند.کار های قبلی نشان داده افزایه مگنتیت فضای خالی موجود و در نتیجه مهاجرت گاز را کنترل میکند.دومین نوع فضای خالی بین لوله جداری و دیواره چاه در محل تشکیل کیک سیال حفاری است که باعث تضعیف فرآیند بندش سیمان می شود که تحقیقات آزمایشگاهی نشان می دهد برای کنترل این پدیده افزایه clay anchorage کارایی مناسبی دارد.سومین و پیچیده ترین فرآیند تغییر فشار در طی مرحله بندش است که با افزودن مقدار صحیح الاستومر قابل کنترل می باشد.

در فاز عملیاتی نیز تکنیک های نوین و موثری جهت مقابله با مشکل مهاجرت گاز معرفی شده اند.تحقیقات دامنه دار در این زمینه ثابت کرده اند که نیروی جاذبه بین ذرات سیمان را می توان به آسانی با ارتعاش یا به نوسان در آوردن دوغاب بعد از این که به حالت ایستا در آمد شکست که این ارتعاش باعث می شود سیمان به حالت مایع درآمده و در طول بندش سیمان یک فشار هیدرواستاتیک کامل روی سازند اعمال شود.روشهای دیگری نیز مثل استفاده از سیمان با تراوایی پایین نیز جهت مقابله با این مشکل معرفی شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مباحث نظری

یک دوغاب پیشنهادی برای یک عملیات سیمانکاری دارای ویژگیهای متعددی است که تمامی آنها باید قبل از عملیات ثبت شده و مورد آنالیز قرار بگیرند.این پارامترها در آزمایشگاه سیمان حفاری و توسط دستگاههای مخصوص قابل محاسبه و اندازه گیری می باشند.نکته مهم این است که مهندسین، طراحی دوغاب خود را با استفاده از یک سری داده های اولیه انجام می دهند.این داده ها شامل اطلاعات سازند(فشار،دما،تراوایی،عمق و ...) ، طول ستون سیمان در چاه، مشخصات لوله حفاری و قطر چاه و ... می باشد.قبل از طراحی دوغاب هر چقدر اطلاعات بیشتری حاصل شود نتیجه بهتری نیز بدست می آید.ویژگی های مهم دوغاب که برای مساله مهاجرت گاز نیز باید مورد بررسی قرار بگیرند شامل : دانسیته، رئولوژی قبل و بعد از حرارت، وضعیت ته نشینی و میکس و همگنی، افت صافی، آب آزاد، پروفیل بندش، وضعیت مقاومت تراکمی، تراوایی، آب رفتگی (Shrinkage) ، روند افزایش مقاومت ژله ای و ... می باشد.

دوغابی که احتیاجات مورد نیاز را در مورد هر یک از ویژگیهای مذکور برآورده نکند نمی تواند از مقاومت خوبی در برابر نفوذ گاز برخوردار باشد.در جدول شماره ی ۱ عواملی که در بحث نفوذ گار تاثیر گذارند و نتیجه ای که می تواند به دلیل وجود این پارامترها حاصل شود قابل مشاهده می باشد :

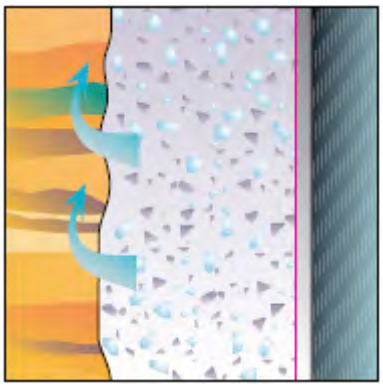
جدول ۱- پارامتر های تاثیر گذار در مساله مهاجرت گاز درون دوغاب سیمان

پارامتر	*اثر*
-دانسیته نادرست دوغاب	-عدم تعادل هیدرو استاتیکی
-حذف ضعیف گل و کیک گل	-ایجاد مسیر برای جریان گاز
-ژلگی نابالغ	-از دست رفتن کنترل فشار هیدرو استاتیکی
-افت صافی بالا	-ایجاد فضا در دوغاب برای ورود گاز
-دوغابهای تراوا	-جداسازی ناحیه ای ضعیف و مقاومت کم در برابر نفوذ گاز
-آب رفتگی (Shrinkage) بالا	-افزایش تخلخل و تنشی که منجر به ایجاد میکروآنالوسها در سیمان می شود
-شکست سیمان بر اثر تنش ها	-کمک می کند تا گاز بتواند ورقه های سیمان را بشکافد
-اتصال ضعیف	-عدم سیمان شدگی مناسب در محل تماس سیمان و سازند/لوله جداری

گاز از سازند هنگامی قابلیت نفوذ را پیدا خواهد کرد که فشاری بیش تر از فشار هیدرواستاتیکی ستون دوغاب داشته باشد.قطعا یکی از مهم ترین روش های مقابله با مهاجرت گاز آنالیز فشاری ناحیه سیمان کاری شده و بررسی موازنه فشاری بین ستون سیمان و سیال سازند خواهد بود.طی فرآیند هیدراتاسیون سیمان و در مرحله ژله ای شدن دوغاب شاهد کاهش حجم آب و به تبع آن افت فشار هیدرواستاتیکی ستون سیمان هستیم. باید در طراحی دوغاب به این مساله دقت ویژه ای شود.در واقع کاهش حجم آب از اصلی ترین دلایل کاهش فشار هیدرو استاتیکی ستون دوغاب سیمان است.شکل شماره ی ۱ نشان دهنده افت صافی دوغاب است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- افت صافی دوغاب سیمان

فشار هیدرواستاتیکی اولیه ستون سیال از فرمول شماره ۱ قابل محاسبه است:

$$P = F_w.L.(۰,۰۵۲) \quad (۱)$$

P : فشار هیدرواستاتیک، psi

Fw : وزن سیال، ppg

L : طول ستون سیال، ft

با کاهش حجم آب توانایی ستون دوغاب در انتقال فشار هیدرواستاتیکی کاهش می یابد. آب رفتگی (Shrinkage) در واقع کاهش حجمی است که سیمان در طول زمان در اثر از دست دادن آب و انقباض دچار آن می شود. این پدیده باعث ایجاد مسیر هایی مخصوصا در سطوح تماس سیمان و دیواره چاه/لوله جداری می شود.گاز می تواند به راحتی در این مسیرها وارد شود و جریان پیدا کند.کنترل صافاب دوغاب سیمان موثر ترین راه در کنترل این ضایعه در سیمان است.

صافاب و آب آزاد شاید کلیدی ترین فاکتورهای موثر در فرآیند مهاجرت گاز باشند.دوغابی با کاهش حجم بالای آب کاهش فشار شدید هیدرواستاتیکی خواهد داشت که منجر به عدم توانایی سیمان در حفظ حالت فراتعادلی می شود و به تبع آن سیال از منطقه پر فشار به منطقه کم فشار حرکت می کند.آن چه قطعی به نظر می رسد این است که طی فرآیند بندش سیمان حتما سیستم مقداری از آب خود را از دست می دهد ولی طبق استانداردهای API سیمانی که در مدت ۳۰ دقیقه مقدار افت صافی کمتر از ۵۰ میلی لیتر داشته باشد سیمانی بسیار خوب ارزیابی می شود.همچنین چنین سیمانی باید آب آزادی نزدیک به صفر داشته باشد.مقدار بالای آب آزاد که آب اضافی است که در فرآیند هیدراتاسیون سیمان مشارکت نمی کند باعث ایجاد حفره هایی در سیمان پس از بندش می شود. این مشکل بالاخص در چاههای زاویه دار که آب بالای حفره چاه می ایستد منجر به ایجاد تونلی می شود مسیر را برای جریان یافتن گاز باز میکند.در مورد افت صافی یا فیلترات دوغاب هم همانطور که ذکر شد کاهش توانایی سیستم سیمانی در انتقال فشار هیدرو استاتیکی را به همراه خواهد داشت.

۳- مطالعه موردی آزمایشگاهی

پروژه آزمایشگاهی به منظور ارزیابی افزایه های پاراگاز و کنترل کننده افت صافی انجام گرفت.در حالت کلی یکی از اصلی ترین روشهای اصلاح فرمولاسیون دوغاب برای حصول به ویژگیهای مطلوب استفاده از افزایه های گوناگون است.افزایه های پاراگاز گران قیمت هستند و کنترل بسیار خوبی روی میزان افت صافی دوغاب دارند.همچنین روی پروفیل بندش و پارامترهای دیگر تاثیر گذارند.افزایه های کنترل کننده افت صافی نیز همان طور که از نامشان پیداست وظیفه جلوگیری از هرزروی آب از دوغاب را عهده دار می باشند.

www.Reservoir.ir

www.SID.ir

Archive of SID

این پروژه برای یک عملیات سیمانکاری در یکی از چاههای میادین جنوب غربی ایران انجام گرفت.طراحی سیمان برای فضای دالیزی لوله جداری تولیدی 9 5/8 اینچی صورت گرفت.نوع طراحی هم برای سیمان دنباله هم سیمان راهنما تعیین شد.فرمولاسیون های دوغابهای مورد نظر در جدول شماره ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- فرمولاسیون های دوغاب راهنما

شماره فرمولاسیون	سیمان G کرمان(گرم)	بنتونایت(گرم)	کنترل صافاب(گرم)	پاراگاز(گرم)	ریتاردر(گرم)	آب(میلی لیتر)
۱	۱۰۰۰	۱۵	۳۸	۷,۵	۱	۷۶۰
۲	۱۰۰۰	۱۵	۷۷	۷,۵	۳	۷۲۰
۳	۱۰۰۰	۱۵	۱۱۳	۱۵	۳	۶۹۶

همان طور که از جدول شماره ۲ پیداست میزان افزایه کنترل افت صافی در هر فرمولاسیون افزایش یافته.افزایه پاراگاز هم در فرمولاسیون ۳ افزایش پیدا کرده است.با این کار سعی شده تا توانایی افزایه ها در انجام وظیفه شان سنجیده شود.افزایش مقدار افزایه تاخیر دهنده یا ریتاردر به این دلیل است که به طور ذاتی افزایه های کنترل صافاب و ضد گاز دوغاب را ویسکوز و غلیظ می کنند و زمان بندش سیمان را کاهش می دهند.

طبق فرمولاسیون های مذکور دوغابها ساخته شد و پارامتر های مورد نیاز محاسبه گردید.جدول شماره ۳ نشان دهنده ویژگیهای رئولوژیکی، دانسیته، وضعیت میکس و صافاب دوغابهای ساخته شده است.

جدول ۳- ویژگی های اندازه گیری شده دوغاب ها

Slurry number	Plastic viscosity	Yield point	Weight(pcf)	Filtrate	Mixing time(seconds)
1	22.5	5.5	100	No control	15
2	31.5	5.5	100	No control	12
3	51	6	100	77 ml@ 5.5' (360 API)	20

شکل شماره ی ۳ نمایانگر دستگاه فیلتر پرس دما/فشار بالا استاتیکی می باشد که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.با استفاده از این دستگاه می توان مقدار افت صافی دوغاب را در درجه های حرارت و فشار مختلف اندازی گیری کرد.اساس کار این دستگاه به این صورت است که در حدود ۶۰ میلی لیتر از دوغاب تهیه شده به لیوان مخصوص دستگاه منتقل شده و از بالا تحت فشار بالای ۱۱۰۰ پوند بر اینچ مربع قرار می گیرد.در نتیجه فاز آبی دوغاب با عبور از یک صافی از آن جدا و حجم آن پس از خروج از ظرف بعد از ۳۰ دقیقه اندازه گیری می شود.مقدار این حجم بیانگر مقدار از دست رفتن فاز مایع دوغاب در حین عملیات سیمانکاری است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳- دستگاه فیلتر پرس استاتیکی دما.فشار بالا

برای اندازی گیری رئولوژی دوغاب از دستگاه ویسکومتر، دانسیته از ترازوی گل و برای میکس کردن دوغاب و محلول از میکسر سیمان استفاده شد.

۴- نتایج

با توجه به نتایج حاصل شده که در جدول شماره ۲ قابل مشاهده است در فرمولاسیون نخست اگرچه زمان میکس مناسب ارزیابی می شود اما هیچ کنترلی روی افت صافی صورت نگرفته است.در فرمولاسیون شماره ۲ مقدار افزایه کنترل صافاب بیشتر شد اما باز مقدار افت صافی بسیار شدید گزارش شد.در فرمولاسیون شماره ۳ هم مقدار پاراگاز افزایش پیدا کرد و هم کنترل کننده ی صافاب.این بار نتیجه کمی بهتر بود اما باز مقدار افت صافی تقریبا چهار برابر بدتر از یک سیمان با افت صافی مناسب در جهت مقابله با نفوذ گاز می باشد.

با این که میزان استفاده از دو افزایه پاراگاز و کنترل کننده افت صافی افزایش یافت نتایج کنترل صافاب بسیار بد گزارش شد.این مساله نشان دهنده کیفیت بسیار نا مطلوب افزایه هاست.دوغابی که در نتیجه استفاده از این افزایه ها ساخته شود به هیچ عنوان توانایی مقابله با پدیده نفوذ گاز را نخواهد داشت و دچار ژلگی نابالغ می شود.کاهش حجم آب این دوغاب بسیار زیاد خواهد بود و در طی زمان سیمان دچار آب رفتگی (Shrinkage) خواهد شد.در نتیجه ایجاد میکرو آنالوسها و شبکه های سیمان قابل پیش بینی است که به تبع آن نفوذ و جریان یافتن گاز به راحتی انجام می شود.این سیمان بسیار زود توانایی انتقال فشار هیدرواستاتیکی خود را از دست می دهد و قبل از بندش، گاز درون دوغاب نفوذ خواهد کرد که بعد از بندش هم باعث ایجاد تونل ها و مسیرهایی خواهد شد که باعث می شود حتی بعد از بستن سیمان و مقاومت گرفتن، تهاجم گاز به سیستم ادامه پیدا کند.

۴- نتیجه‌گیری

پارامترهای بسیاری در ارزیابی عملکرد یک دوغاب در برابر نفوذ گاز باید مورد بررسی قرار بگیرد ولی دو پارامتر افت صافی و آب آزاد دو فاکتور اساسی و بسیار مهم در این زمینه هستند. آب رفتگی (Shrinkage)، ژلگی نابالغ،کاهش حجم آب سیستم دوغاب،عدم توانایی ستون سیمان در انتقال فشار هیدرواستاتیکی،ایجاد مسیرها و فضای خالی در سیمان بعد از بندش، اتصال ضعیف سیمان با سازند/لوله جداری و ... همگی مواردی هستند که مستقیما از فیلترات و آب آزاد بالای یک فرمولاسیون دوغاب تاثیر می پذیرند.

www.Reservoir.ir

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور کاهش این دو پارامتر می توان از افزایه های پاراگاز و کنترل کننده ی صافاب استفاده کرد و فرمولاسیون سیمان را می بایست بهینه سازی کرد.اگرچه وظیفه ذاتی این افزایه مشخص است اما قبل از طراحی یک دوغاب باید به طور حتم کارکرد این افزایه ها مورد بررسی قرار بگیرد.

مراجع

1. Newman, K., Wojtanowicz, A.K. and Gahan, B.C., “Cement Pulsation Improves Gas Well Cementing”, World Oil (2001) 89'
2. M. Mohammadi Pour, J. Moghadasi.,”New Cement Formulation that Solves Gas Migration Problems in Iranian South Pars Field Condition” SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, 11-14 March 2007, Kingdom of Bahrain
3. alabani, Soran,; Chukwu, G.A., Hatzignatiou, D.G.,” A Unique Experimental Study Reveals How To Prevent Gas Migration in a Cemented Annulus”., SPE Eastern Regional Meeting, 2-4 November 1993, Pittsburgh, Pennsylvania
4. Stewart, R.B.,; Schouten, F.C., “gas Invasion and Migration in Cemented Annuli: Causes and Cures”, SPE Drilling Engineering,vol 3 no1 ,march 1988
5. V. Gonzalo, B. Aiskely, and C. Alicia, “a Methodology to Evaluate the Gas Migration in Cement Slurries”SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 20-23 June 2005, Rio de Janeiro, Brazil
6. Zhu Haijin,Qu Jiansheng,Liu Aiping,Zou Jianlong,and Xu Jiaxing, “A New Method to Evaluate the Gas Migration for Cement Slurries”International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, 8-10 June 2010, Beijing, China
7. Dale Dusterhoft,.; Greg Wilson,; Ken Newman, “Field Study on the Use of Cement Pulsation to Control Gas Migration”SPE Gas Technology Symposium, 30 April-2 May 2002, Calgary, Alberta, Canada

www.Reservoir.ir

www.SID.ir