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 پدیده ی مهاجرت گاز درون دوغاب سیمان و مطالعه عوامل موثر

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

در این مقاله نفوذ گاز به داخل دوغاب سیمان حفاری مورد بررسی دقیق قرار می گیرد. این مشکل از خطرناک ترین و پیچیده ترین چالشهای پیش روی صنعت حفاری چاه های نفت و گاز بر شمرده می شود، چالشی که باعث خسارات مالی و حتی جانی می شود. در این پژوهش سعی شده ریشه های پدیده مهاجرت گاز به طور جامع شناسایی شده و همچنین پارامترهای موثر در مقابله با این مشکل ذکر شود. عوامل گوناگونی در مهاجرت گاز تاثیر گذارند و روشهای متعددی برای مقابله با این پدیده موجود است ولی تمرکز این مقاله روی بخش طراحی دوغاب متناسب با شرایط عملیات می باشد. پدیده مهاجرت گاز از این حیث پیچیده است که نیازمند بررسی های جامع و دقیق و همچنین جمع آوری داده های متفاوت در فازهای مختلف مربوطه است. قطعا شناخت جامع مساله لازمه ی ارائه ی راهکارهای مناسب است ، همینطور که در این پژوهش سعی در مطالعه و مرور مشکل می باشد.

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

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.Processconf.ir
www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در این مطالعه نفوذ گاز به داخل دوغاب سیمان حفاری مورد بررسی دقیق قرار می گیرد. 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]

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 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] روش بیکر هم روشی ساده با محدودیتهای مختلف از جمله فشار می باشد.

در مطالعات قبلی تعدادی از افزایه ها برای مقابله با مشکل نفوذ گاز مورد بررسی قرار گرفته اند[3]،هچنین 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]

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.

نوع داده ها ویژگیهای دوغابهای سیمان در حالات مختلف را نمایندگی میکنند.شامل تراوایی نمونه ها ، مقاوت ژله ای و استحکام تراکمی آنها و لحاظ زمان بندش و زمان انتقالی سیمان در تبدیل از حالت ژله ای.

در نهایت داده های نمونه های مختلف انواع ترکیبات سیمان و افزایه های آن جمع آوری شده و بر اساس تعیین کیفی و کمی رفتار سیمان در برابر پدیده نفوذ گاز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و در نهایت فرمولاسیون بهینه از این طریق در شرایط واقعی چاه اتخاب می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- عوامل موثر در نفوذ گاز و روش های مقابله

پارامترهای بسیاری در زمینه نفوذ گاز تاثیر گذار هستند. این عوامل در فازهای مختلفی همچون عملیات و طراحی دوغاب عمل می کنند.شناخت این عوامل موجبات درک بهتر موضوع و ارائه راهکارهای مفید را فراهم می نماید.فرآیند مقابله با نفوذ گاز به صورت ساده در شکل شماره ی ۱ به نمایش در آمده است.

شکل ۱- فرآیند مقابله با نفوذ گاز

با توجه به شکل ۱ مشخص است که طراحی و بهینه سازی دوغاب از مهم ترین ابزار موجود در فرآیند مبارزه با مهاجرت گاز است.پارامترهای متعددی از دوغاب باید با بهینه سازی فرمولاسیون اصلاح شوند و به حد مطلوب برسند.در این زمینه می توان از ویژگی هایی چون دانسیته ، افت صافی و آب آزاد ، وضعیت ته نشینی ذرات، خواص رئولوژیکی، پروفیل های بندش و توسعه مقاومت ژله ای، تراوایی و آب رفتگی دوغاب نام برد. تک تک این موارد در حین ارزیابی دوغاب بایستی مورد بررسی قرار بگیرند تا استانداردهای مورد قبول حاصل شوند. با این حال طراحی دوغاب بی نقص تضمینی برای مقاومت کامل در برابر پدیده ی مهاجرت گاز نیست. وجود گل حفاری و کیک گل داخل چاه باعث می شود میکروآنالوسهایی پس از بندش سیمان در آن شکل بگیرد که در واقع مسیری را برای جریان یافتن گاز سازندی ایجاد می نماید.

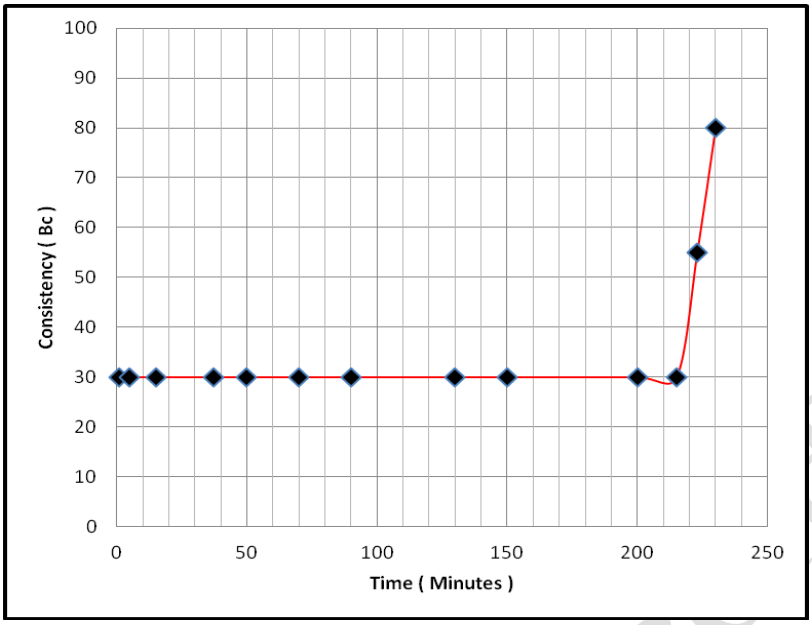
اولین مسئله ای که باید به دقت مورد بررسی قرار بگیرد مساله دانسیته دوغاب پیشنهادی است. ستون دوغاب باید توانایی مقابله با فشار سازندی را داشته باشد. در همین موضوع مهم است که فشار هیدرواستاتیکی سیمان همیشه در حالت فراتعادلی نسبت به فشار سازند باشد، یعنی فشاری بالاتر از فشار حفره سازند و البته کم تر از فشار شکست سازند.چاه نگاری و مغزی گیری ابزاری الزامی در محاسبه دانسیته سازند هستند.قبل از طراحی دوغاب می بایست گرادیان های فشاری سازند محاسبه شوند.در واقع هر چقدر اطلاعات بیشتری از لایه ها ی حاوی سیال داشته باشیم نتیجتا طراحی دوغاب بهتر انجام خواهد گرفت.

همگنی و عدم ته نشینی دیگر فاکتور مهم در طراحی دوغاب است.در واقع دوغاب سیمان باید ظاهری مناسب و یکدست داشته باشد. دوغابی که از این لحاظ استاندارد نباشد توزیع دانسیته در آن بدرستی انجام نمی پذیرد و گاز در نقاط کم فشار تر سیمان توانایی نفوذ خواهد داشت.

پروفیل بندش سیمان نیز در ارزیابی عملکرد دوغاب در برابر مهاجرت گاز مورد بررسی قرار میگیرد. سیمانی که توسعه بندش آن با سرعت بیشتری انجام گیرد عملکرد بهتری را خواهد داشت.به این معنی که بندش آن تدریجی نباشد و افزایش قوام دوغاب در دوره زمانی کوتاه انجام پذیرد.شکل شماره ۲ نشان دهنده این نوع رفتار در یکی از دوغابهای مورد آزمایش است.عدم کاهش چشمگیر حجم آب مزیت دوغابهایی با این پروفیل بندش است.

www.SID.ir

Archive of SID

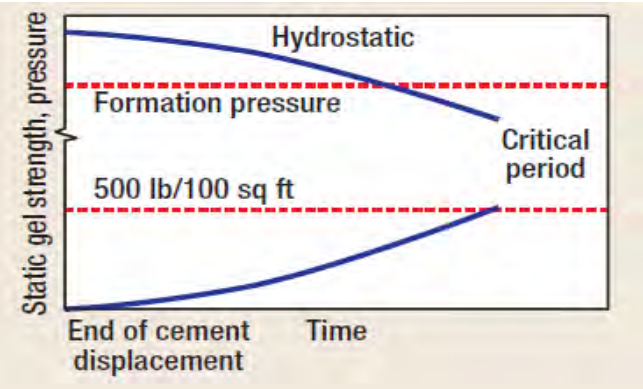


شکل۲- پروفیل بندش مناسب یک نمونه دوغاب مورد آزمایش

همانند پروفیل بندش روند توسعه استحکام مقاومت ژله ای دوغاب نیز باید به دقت بررسی شود.ارزیابی این فاکتور کلیدی امروزه در دستور کار اغلب ارگانهای پژوهشی قرار دارد. با افزایش مقاومت ژله ای شاهد کاهش فشار هیدرواستاتیکی دوغاب سیمان به علت کاهش حجم چشمگیر آب در این مرحله خواهیم بود.با ژل شدن دوغاب، سیمان تبدیل به ماده خمیری شکلی می شود که یک فضای شبه متخلخل دارای تراوایی قلمداد می شود.از سوی دیگر با از دست رفتن آب سیمان توانایی انتقال فشار هیدرواستاتیکی سیمان کاهش می یابد.تا زمانی که مقاومت ژله ای سیمان به مقدار ۵۰۰ پوند بر صد فوت مکعب برسد گاز می تواند از فرصت کاهش فشار در دوغاب بدلیل فرآیند ژله ای استفاده کند و مهاجرت کند.آنالیز این پارامتر توسط دستگاه اندازه گیری مقاومت ژله ای SGS انجام میگیرد. در انالیز ها مدت زمان طی شده افزایش مقاومت ژله ای دوغاب مخصوصا از مقدار ۲۵۰ تا ۵۰۰ پوند بر صد فوت مکعب که به آن زمان گذار دوغاب گویند ثبت و بررسی می شود.بدیهی است هرچه این زمان کوتاهتر باشد سیمان در برابر گاز مقاوم تر است.دوره زمانی مهم دیگری که باید ثبت شود دوره بحرانی هیدراتاسیون نام دارد.طی این مدت زمان افت فشار هیدرواستاتیکی دوغاب بدلیل فرآیند ژلگی و هیدراتاسون ادامه می یابد.زمان شروع این دوره آنجاست که فشار دوغاب زیر فشار سازند می افتد و تا زمان رسیدن مقاومت ژله ای به مقدار ۵۰۰ پوند بر صد فوت مربع ادامه می یابد. لازم به ذکر است که این دوره زمانی با زمان گذار ژله ای یکسان نیست.شکل شماره ی ۳ نشان دهنده ی این فرآیند می باشد.

www.SID.ir

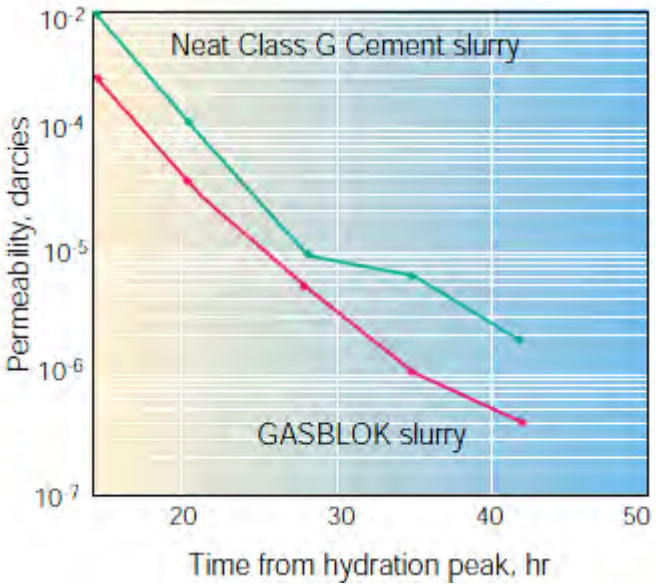
Archive of SID



شکل ۳- دوره ی بحرانی هیدراتاسیون سیمان

ارزیابی تنش های محلی و به تبع آن اندازه گیری مقاومت تراکمی سیمان از این لحاظ حائز اهمیت است که بایستی این اطمینان حاصل گردد که تنش های وارده در منطقه سیمان کاری توان ایجاد شکاف در دوغاب سیمان و در نتیجه ایجاد مسیری برای نفوذ گاز را نداشته باشد.از این رو مناسب است که روند توسعه مقاومت سیمان توسط دستگاه اتوکلاو در آزمایشگاه ثبت گردد.

تراوایی عاملی است که باعث می شود گاز داخل دوغاب جریان پیدا کند.یکی از راه حل های مناسب در مورد موضوع مهاجرت گاز استفاده از دوغاب هایی با تراوایی بسیار کم می باشد.با شروع ژل شدن سیمان می توان برای سیستم تراوایی اولیه ای را قائل شد.شکل شماره ۴ نشان دهنده استفاده از دوغابهای مخصوص کم تراوا (سیستم دوغاب مخصوص ضد گاز شرکت شلمبرژه) و مقایسه آن با عملکرد سیمانهای متداول را نشان می دهد.



شکل ۴- مقایسه تراوایی سیمانهای مخصوص ضد گاز و سیمانهای معمولی

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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

قابل ذکر است طراحی دوغاب مناسب شرط لازم برای جلوگیری از مهاجرت گاز است و نه کافی.عوامل بسیار دیگری در این زمینه موثرند.عدم حذف و شستشوی مناسب دیواره چاه از کیک گل و سیال حفاری باعث ایجاد میکرو آنالوسها بین سازند و جداری و سیمان می شوند.بعدا با shrinkage سیمان مسلما گاز می تواند به چاه وارد شود.

در طراحی دوغاب مناسب و مقاوم در برابر مهاجرتهای گاز باید فاکتورهای بسیاری در نظرگرفته شود.رد شدن دوغاب در هر کدام از این ویژگیها می تواند باعث عدم موفقیت سیمان در انجام ماموریت خود گردد.

بعد از ارزیابی جریان مطابق نکات ذکر شده ریسک به دو زیر مجموعه ریسک بالا و ریسک کم قابل تقسیم بندی است.در مورد ریسک بالا باید در طراحی دوغاب از افزایه های مخصوص استفاده کرد.افزایه های ویژه ای همچون افزایه های پاراگاز در این مرحله باید وارد شوند.شلمبرژه در این موارد از افزایه هایی همچون D500,D600,D700 به ترتیب برای دماهای کم متوسط و بالا استفاده میکند.استفاده از این افزایه ها بخشی از سیستم Gasblock slurry مورد استفاده شلمبرژه است که برای ۲ دهه این دوغابها قابلیتهای خود را به اثبات رسانده اند.

نتیجه گیری

حل مشکل مهاجرت گاز درون دوغاب سیمان مستلزم شناخت کافی مساله دارد تا بتوان از آن جلوگیری کرد. تنشها و فشارهای سازندی، عدم شستشو و حذف کامل گل از چاه قبل از سیمانکاری و ویژگیهای فیزیکی، رئولوژیکی و شیمیایی دوغاب سیمان همگی ریشه های نفوذ گاز هستند. شناخت کامل فرآیند بندش سیمان و مراحلی که در طی آن سپری می شود نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در طراحی دوغاب بهینه باید تمامی این فاکتورها مورد بررسی قرار گیرند و عدم حصول مقدار مقبول برای حتی یک مورد از این ویژگیها می تواند به معنای شکست سیمان در ماموریت جلوگیری از مهاجرت گاز قلمداد شود. طراحی و بهینه سازی دوغاب از مهم ترین ابزار موجود در فرآیند مبارزه با مهاجرت گاز است.پارامترهای متعددی از دوغاب باید با بهینه سازی فرمولاسیون اصلاح شوند و به حد مطلوب برسند.در این زمینه می توان از ویژگی هایی چون دانسیته ، افت صافی و آب آزاد ، وضعیت ته نشینی ذرات، خواص رئولوژیکی، پروفیل های بندش و توسعه مقاومت ژله ای، تراوایی و آب رفتگی دوغاب نام برد.

منابع

1. Newman, K., Wojtanowicz, A.K. and Gahan, B.C., “Cement Pulsation Improves Gas Well Cementing”, World Oil (2001) 89'

www.SID.ir

Archive of SID

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.Processconf.ir

www.SID.ir