علل مهاجرت گاز در داخل دوغاب سیمان و راههای درمان آن

حمید سلطانیان
مرکز مطالعات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت
soltanianh@ripi.ir

چکیده

از طریق تحقیقات آزمایشگاهی ثابت شده است که سه نوع مهاجرت گاز از داخل فضای حلقوی سیمانه شده، به وسیله طراحی دقیق ترکیب سیمان قابل کنترل هستند . نوع اول فضای خالی ، و درنتیجه آن مهاجرت گاز بین سیمان و لوله جداری اتفاق می افتد. با افزودن مقدار درست مگنتیت به سیمان ، این نوع فضای خالی و در نتیجه مهاجرت گاز حاصل از آن می تواند کنترل شود. دومین نوع فضای خالی بین لوله جداری و دیواره چاه در محل تشکیل کیک حفاری باعث تضعیف فرایند بندش سیمان می شود، با استفاده از نوعی ماده مخصوص به نام ANCHORAGE CLAY، این بندش تاحدی که مهاجرت گاز بین لوله جداری و دیواره چاه حذف شود ، بهبود می یابد. سومین و پیچیده ترین فرایند ، تغییر فشار در طی مرحله بندش می باشد. مقدار صحیح درصد آب و همچنین مواد تاخیر دهنده ها در طی فرایندهای هیدراتاسیون ، برای کسب بهترین نتیجه مورد نیازمی باشد. با افزودن مقدار صحیح الاستومر، این تغییرات فشار در طی زمان بندش سیمان می توانند برطرف شوند. الاستومرها به عنوان موادی که در مقابل فشار می توانند عکس العمل مخالف نشان دهند شناخته شده اند . این پدیده باعث حذف تغییرات فشار و درنتیجه حذف ترکهای میکروسکوپی می شود. سه عامل فوق تابعی از دما و فشار می باشد . از آن جایی که در یک چاه تغییرات فشار و دما نسبت به عمق رخ می دهد لذا طراحی سیمان بایستی به دقت انجام گیرد. در این مقاله ، تک تک اجزاء لازم برای حذف نشت گاز مورد بحث قرارگرفته است و همچنین روشی برای حذف کامل مهاجرت گاز در حین عملیات سیمانکاری ارایه می شود.

Causes of Gas Migration Through Cement Slurries and Curring Methods

H. Soltanian
Research Institute of Petroleum Industry
P.O.Box: 18745-4163, Tehran, Iran
soltanianh@ripi.ir

ABSTRACT

It has been proven through laboratory experiments that the three types of gas migration through a cemented annulus can be eliminated by designing the correct cement mixture. The first type of void and, therefore, gas migration can occur between the casing and the cement. By adding the correct amount of magnetite to the cement, this void, and therefore the possible cause of gas migration, can be eliminated. The second possible type of void generation is between the cement and the borehole wall where the filter cake forms at the borehole wall adversely affects the bonding process. By using a special material, Anchorage Clay, this bonding can be improved to the extent that the gas migration between the borehole and the cement can be eliminated. The third and most complicated process is the pressure changes appearing in the cement during the setting phase.

The correct amount of water as well as retarders is crucial for the best results during the dehydration process of the cement. By adding the correct type of elastomers, this

planned since a well has both temperature and pressure gradients with depth. This paper discusses the individual components necessary for gas-leak elimination. The paper gives a clear guideline for designing the total elimination of gas migration during a cement job. In addition, this paper clearly addresses the gas migration problems related to cementing operations.

pressure variation during the setting of the cement can be eliminated. Elastomers are known to counter- react the pressure behavior during the setting process.
This eliminates the pressure variations and, therefore, the micro cracks. The three above mentioned effects are strong functions of temperature and pressure, and the cement design for a well would have to be carefully

مقدمه

عبور گاز از داخل سیمان اغلب به صورت ایجاد کانال[1] بیشتر در هنگام فرایند تبدیل دوغاب سیمان از حالت مایع به جامد معمول است. در هنگام عملیات سیمانکاری و در زمانی که دوغاب سیمان به صورت مایع می‌باشد، مهمترین عاملی که از ورود گاز به داخل دوغاب سیمان جلوگیری می‌کند، فشار هیدرو استاتیکی دوغاب سیمان و گل حفاری بالای آن است. تا زمانی که این فشار بیشتر از فشار تخلخل سازند حاوی گاز باشد، گاز وارد ستون دوغاب سیمان نخواهد شد. علاوه بر چگالی، عامل دیگری که می‌تواند بر فشار هیدرواستاتیکی ستون دوغاب سیمان تاثیر بگذارد، وضعیت مقاومت ژله‌ای دوغاب سیمان می‌باشد. دلیل آن این است که توانایی دوغاب سیمان برای انتقال فشار هیدرواستاتیکی آن به مقاومت ژله‌ای بستگی دارد. در نتیجه، هر چه مقاومت ژله‌ای کمتر باشد، توانایی انتقال فشار هیدرواستاتیکی در فضای حلقوی بیشتر است، به همین دلیل در هنگام طراحی و مخلوط کردن دوغاب سیمان و همچنین سیالات wash/Spacer لازم است بررسی - های دقیقی صورت گیرد تا آنها قابلیت حفظ و انتقال فشار هیدوراستاتیکی بزرگتر از فشار تخلخل سازند را دارا باشند. به هر حال برای پیشگیری از هرزروی دوغاب سیمان و وقوع احتمالی فوران گاز یا مایع، فشار هیدرواستاتیکی در فضای حلقوی چاه در هر عمقی، نبایستی از فشار شکست[2] سازند بیشتر باشد.

زمانی که دوغاب سیمان شروع به هیدراته شدن می‌کند، از حالت یک سیال واقعی که تمام فشار هیدرواستاتیکی اش را منتقل می‌کند به یک ماده ژل مانند نیم بند[3] تبدیل می‌شود. در این حالت ذرات سیمان یک ساختارچسبنده‌ای که دیگر فشار هیدرواستاتیکی را منتقل نمی‌کند به خود می‌گیرد و در عوض، فشار هیدرو استاتیکی اولیه دوغاب سیمان در داخل خلل و فرج ماتریکس سیمان محصور می‌شود. در نتیجه، اقدامات لازم برای جلوگیری از ورود گاز به سیمان دراین مرحله متفاوتند و مهمترین عامل فشار تخلخل داخل سیمان می‌باشد. تا زمانی که این فشار از فشار سازند گازدار بیشتر است، گاز قادر به ورود داخل ستون سیمان نخواهد بود و فشار تخلخل سیمان تابع حجم آب موجود در ماتریس سیمان می‌باشد و هر نوع کاهشی دراین حجم موجب کاهش متقابل فشار تخلخل سیمان می‌شود و بنابراین به گاز اجازه می‌دهد که وارد سیمان شود[۱،۲].

در طول فرایند انتقال دوغاب سیمان از حالت یک سیال واقعی به یک ماده ژل نیم بند، دو پدیده در کاهش حجم آن

1-Gas Channeling

2- Fracturing Pressure
3- Thickening Time

درگیر می‌باشند که عبارتند از:

۲- هرزروی آب موجود در دوغاب سیمان به داخل سازند نفوذپذیر.

واضح است که کنترل پدیده اول مشکل می‌باشد اما امکان این که بتوان مقدار افت صافی دوغاب (به میزان آب یا سیالی که از دوغاب سیمان به سازندها نفوذ می نماید اتلاق می شود و در استاندارد API سیالی که در مدت ۳۰ دقیقه در فشار PSI ۱۰۰و در دمای محیط از دوغاب جدا می شود اندازه گیری می شود)را با استفاده از مواد کنترل کننده افت صافی کاهش داد وجود دارد.کنترل افت صافی دوغاب سیمان باعث به حداقل رسیدن افت فشار تخلخل سیمان می‌شود و به همین دلیل دوغابهایی با حداقل افت صافی بهترین گزینه برای جلوگیری از مهاجرت گاز می‌باشند.

بر اساس استانداردAPI۱۰ مناسبترین دوغاب از نظر مقابله با مهاجرت گاز دوغابی با افت صافی حداکثر$۵۰ml/۳۰min$ می-باشد و در مقادیر بیش از این نه تنها نفوذپذیری سیمان افزایش می‌یابد بلکه، ساختار سیمان نیز تضعیف می‌شود.

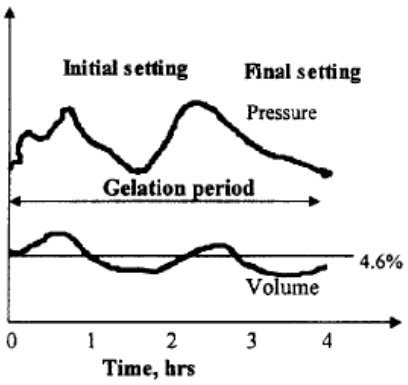
توانایی گاز برای ورود به داخل دوغاب سیمان تابعی از تنش برشی دوغاب می‌باشد. هر چه دوغاب سریعتر بتواند تنش بر شی خود را (مقاومت برشی) افزایش دهد، احتمال مقابله با مهاجرت گاز در داخل سیمان بیشتر است بر همین اساس زمانی که مقدار تنش برشی به $lb/۱۰۰ft^2$ ۵۰۰ برسد احتمال ورود حبابهای گاز به داخل ستون سیمان صفر خواهد بود(به همین دلیل مدت زمانی که طول می‌کشد مقاومت برشی سیمان به $lb/۱۰۰ft^2$ ۵۰۰ برسد از درجه اهمیت بالایی برخوردار است). زمانی که هیدراتاسیون سیمان تمام می‌شود، سیمان به یک ماده الاستیک نفوذناپذیر تبدیل می‌شود. در این مرحله، مهاجرت گاز تنها از طریق کانالهایی واقع در سطح تماس سیمان با سازند امکان پذیر است. وجود چنین کانالهایی تابع مرغوبیت اتصال سیمان با سازند و همچنین وجود هر نوع شکست مکانیکی در سیمان می‌باشد. با در نظر گرفتن این

۱- هیدراتاسیون سیمان

پدیده‌ها، راه‌حل‌های متفاوتی برای مقابله با مهاجرت سیمان به کارگرفته شده است.

اگر چه، مهاجرت گاز در عمق زیاد موضوعی پیچیده است، لیکن مهاجرت گاز در عمق کم حتی موضوعی بحث انگیزتر است، چرا که این عامل باعث می‌شود که تامین فشار هیدرواستاتیکی لازم برای مقابله با لایه گازدار مشکل باشد، به علاوه وجود لایه‌های ضعیف و کم مقاومت مشکل دیگری به وجود می‌آورد. بنابراین از دوغابهای سنگین وزن برای اعمال فشار هیدرواستاتیکی بیشتر به خاطر ترس از هرزروی پرهیز می‌شود. علاوه بر این، دمای کم باعث تاخیر در دوره انتقالی سیمان از حالت سیال به حالت دوفازی و در نهایت به حالت ماده جامد الاستیک می‌شود. از آنجائی که دوغاب سیمان در حین این مراحل انتقالی بیشترین قابلیت انتقال گاز را دارد، لذا بایستی دوغاب سیمانی را طوری طراحی کرد که در مقابل نفوذ گاز کاملاً مقاوم باشد.

دوغاب سیمان در طول دوره ژله‌ای شدن از دو چرخه تشکیل ساختاری خود عبور می‌کند. نمودار۱ شمای کلی دوام چرخه اول و دوم دوره ژله‌ای شدن را نشان می‌دهد. در چرخه اول، دوغاب سیمان در یک ساختمان سه بعدی خود را مستحکم می‌کند(رفتار تیکسوتروپیک[1])[۱،۲]



1- Thixotropic

نمودار۱- مراحل مختلف بندش سیمان[۲]

دست می‌دهد، این عامل موجب یک واکنش ناقص بین آب و سیمان می‌شود و در نتیجه کیک سیمانی که در منطقه هرزرو تشکیل می‌شود از مقاومت بسیار کمی برخوردار است. دما و فشار دو خاصیت فیزیکی هستند که در مرحله بندش نهایی سیمان موثر هستند. دما بیشترین تاثیر منفی را در وضعیت سیمان در محل تماس با لوله جداری چاه دارد. به طور مشابه، فشار در بندش سیمانی که از حالت مایع به جامد تبدیل می‌شود اثر می‌گذارد.

سیمان با فلز تشکیل دهنده لوله جداری چاه سازگار نیست، بنابراین اتصال بین این دو ضعیف است و این اتصال ضعیف می‌تواند با تغییرات دما و فشار تحت تاثیر قرار گیرد. علاوه بر فشار و دما، عامل های زیادی در سیمانکاری وجود دارند که غیر قابل کنترل بوده و یا تاثیر آنها قابل برطرف شدن نیست، برای مثال یک لوله جداری غیر متقارن باعث جریان دوغاب سیمان غیریکنواخت می‌شود.

مراحل سیمان

فرایند سیمانکاری ، سه مرحله قبل از بندش سیمان را طی می‌کند که عبارتند از:

مرحله دوغاب سیمان

در این مرحله، سیمان در حال حرکت با فاز پیوسته واکنش می‌دهد. این بدین معنی است که دوغاب سیمان در نقاط مختلف در داخل چاه خواص رئولوژیکی متفاوتی خواهد داشت. در این مرحله دوغاب سیمان در طول دوره زمانی مخلوط شدن سیمان با آب برای مدت زمان معینی از مدل Power Law پیروی می‌کند، بعد از این دوره سیمان از مدلHarschel Bulkly پیروی می‌کند که با معادله زیر بیان می‌شود [۳].

زمانی که سیمان در معرض یک سازند متخلخل قرار می‌گیرد، مقداری از آب خود را به صورت آب هرزرو از

$$J = J_Y + K\gamma^n \qquad (۱)$$

در این معادله k ثابت گرانروی و γ نرخ برش ژلگی می‌باشد.

مرحله ژلگی

این مرحله بحرانی‌ترین مرحله‌ای است که بندش سیمان طی می‌کند. در این مرحله دوغاب سیمان بیشتر فازپیوسته خود را (آب آزاد) به شکل هرز رو در سازند از دست داده و دیگر جریان نمی‌یابد و دارای یک شکل سه بعدی تیکسوتروپیک است که ذرات سیمان را به هم متصل می‌کند و این اتصالها به اندازه کافی قوی نیستند که دوغاب بالای خود را تحمل کنند. در طول این مرحله، سیمان چرخه نخست انبساط (از طریق واکنش آب و سیمان) و انقباض (واکنش کامل و اتصالات ملکولی) را طی می‌کند. در این مرحله حفظ فشار فضای حلقوی بین چاه و لوله جداری ممکن است به حذف خلل و فرج موضعی که در طول این مرحله تشکیل می‌شود، کمک کند. در طول این مرحله پایداری (به گرانروی سیالات غیر تیکسوتراپیک که تابع زمان بوده اتلاق می شود در صورتی که در سیالات تیکسوتراپیک مانند گل حفاری گرانروی مستقل از زمان می باشد) دوغاب سیمان به اندازه ۱۵۰ بار بیشتر از مقدار اولیه در حین مخلوط شدن می‌رسد و تمام ذرات اتصال های سه بعدی قویتری در این مرحله تشکیل می‌دهند و در نتیجه دو چرخه که طی آنها سیمان منبسط و منقبض می‌شود پدیدار می‌شود[۴].

مرحله بندش سیمان

دوغاب سیمان بعد از پمپ شدن و استقرار در سازندهای زمین شروع به ژله ای شدن کرده و بلافاصله بعد از این مرحله بندش

دوغاب آغاز می شود در این مرحله سیمان به حداکثر انقباض خود به دلیل واکنشی که با آب باقیمانده انجام می دهد، می رسد. در مرحله بندش، سیمانی که با سازند متخلخل مواجه می نشده و ذرات سیمان اتصالات نزدیکتری با هم خواهند داشت و این عامل باعث ایجاد خلل و فرج در ساختمان سنگ سیمان خواهد شد.

انواع ترکهای میکروسکوپی

دونوع ترکهای میکروسکوپی در سیمان چاههای نفت وجود دارند که عبارتند از:

فضای حلقوی میکروسکوپی

دونوع فضای حلقوی میکروسکوپی در چاههای نفت یافت می‌شوند. یکی بین سیمان و لوله جداری چاه و دیگری بین سیمان و سازند. مورد اول برای تولید ترکهای میکروسکوپی مستعدتر می‌باشد و دلیل اختلاف زیاد بین جنس سیمان و جنس لوله جداری می‌باشد. فلز لوله جداری با جذب حرارت حاصل از هیدراسیون سیمان در طول واکنش منبسط می‌شود و بعد از مدت زمان مشخصی، فلز خنک می‌شود و دمای آن با دمای اطراف که توسط گرادیان ژئوترمال اعمال می‌شود یکسان می‌شود.از این رو هم سیمان (در مرحله نهایی آن) و هم لوله جداری به دلیل اختلاف ضریب انبساط حرارتی در زمان مشخصی منقبض می‌شوند و ترک های حلقوی میکروسکوپی را به وجود می‌آوردند.

نوع دوم ترکهای میکروسکوپی اصولاً در مناطقی که سازند دارای تخلخل است شکل می‌گیرد که عامل آن ترک بر داشتن گل و سیمان در محل اتصال سیمان و سازند می‌باشد.

شکافهای میکروسکوپی

این نوع از ترکهای میکروسکوپی در ساختمان سیمان اتفاق می‌افتند و حاصل آخرین چرخه انبساط- انقباض در طول شود نیاز به آب بیشتری برای تکمیل واکنش خود دارد با توجه به اینکه در مرحله ژله ای آب دوغاب بدرون سازند نفوذ کرده لذا واکنش سیمان به دلیل در دسترس نبودن آب کافی تکمیل آخرین قسمت از مرحله ژلگی سیمان می‌باشد. این نوع ترکها به آسانی در کارهای آزمایشگاهی که تحت شرایط دما و فشار مخزن انجام می‌شوند قابل مشاهده هستند.

برطرف کردن ترکهای میکروسکوپی

در این قسمت راههای مقابله برای تشکیل ترکهای میکروسکوپی مورد بحث قرار می‌گیرد.

برطرف کردن فضای حلقوی میکروسکوپی بین سیمان و لوله جداری

با توجه به این که فولاد و سیمان دونوع ماده متفاوت و دارای اختلاف زیاد در انبساط حرارتی، وزن حجمی و دیگر خواص می‌باشند، لذا در هنگام بندش سیمان و بعد از آن جدایشی بین آنها انجام می گیرد. برای رفع این مشکل بهتر است ماده ای انتخاب شود که هم خواص فولاد را به خوبی دارا باشد و هم به خوبی به سیمان بچسبد. در مشاهدات آزمایشگاهی، مگنتیت انتخاب خوبی بوده است چرا که اسفنج آهن در اطراف لوله جداری تشکیل میدان مغناطیسی را می‌دهد و موجب می‌شود در دمای بالا بیشتر ذرات آن در اطراف لوله جداری تمرکز یابند نه در بدنه سیمان.

آزمایش مقاومت فشاری نشان می دهد که محکمترین قسمت این نوع سیمان در محل اتصال سیمان به لوله جداری می‌باشد. با افزودن ۱۰-۷ درصد وزنی سیمان از این ماده برای رفع شکافهای حلقوی میکروسکوپی در ۹۲ درصد آزمایش ها جواب مثبت داده است[۵].

کاهش فضاهای حلقوی میکروسکوپی بین سیمان و سازند

بررسی این پدیده، بخصوص در قسمتهای گشاد شده چاه و نواحی نفوذپذیر مهمترین قسمت مساله است. دریک چاه گشاد شده، اغلب حالتِ جریانِ آرام می‌تواند وجود داشته باشد وهمین عامل سبب می‌شود که بخشی از گل و یا کیک پذیر از دست بدهد و یک کیک سیمانی ضعیف را بوجود آورد.

راه حل این مشکل اضافه کردن Anchorage به سیمان و تزریق آن به عنوان "وصله سیمانی" در مقابل منطقه مربوطه تشخیص داده شده است. چنین رسی متشکل است از ۵۰ درصد ایلیت ، ۳۰ درصد مسکویت و ۲۰ درصد کلریت که با گذشت زمان و با افزایش دما متورم می‌شود. رس به سادگی باعث انبساط محلی بیشتر سیمان و فشردگی بیشتر کیک گل حفاری می‌شود. همچنین حضور رس باعث کاهش چشمگیر فشار موئینگی و در نتیجه کمک به پر کردن حفرات می‌کند. مقدار مصرف مورد نیاز از این مواد ۴ درصد حجمی سیمان است که در مقادیر بیش از آن افت سریع مقاومت فشاری مشاهده می‌شود[۶].

حذف شکافهای میکروسکوپی در بدنه سیمان

این شکافها حاصل دو چرخه انبساط و انقباض سیمان می باشند. هر دو چرخه انبساط و انقباض تابع دما وفشار ته چاه هستند. مقدار حداکثر تغییر در حجم سیمان ۴/۶ درصد وزنی سیمان تحت فشار ۱۰۰psi و دمای اتاق گزارش شده است.راه حل این مشکل افزودن نوع مشخصی از لاستیک پودر شده به سیمان می باشد و مقدار مصرف آن ازطریق معادلات زیر تعیین می‌شود.

مخلوط بهینه سیمان و پودر لاستیک (الاستومتر)

برای نیل به حالتی که در آن هیچ تغییری در حجم سیمان بوجود نیاید معادله زیر می تواند برای بیشتر سازندها به کار رود.

حفاری را که از هرز روی سیال سیمان و اتصال سیمان به سازند جلوگیری می‌کند را کنار بزنند. به عبارت دیگر، سیمان ممکن است مقداری از آب خود را در ناحیه نفوذ

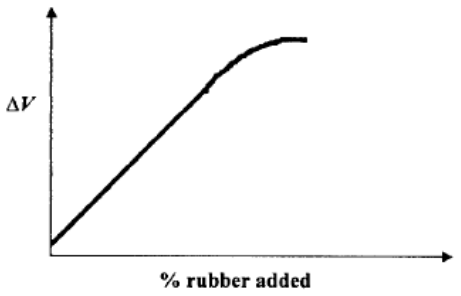
$$\frac{\Delta V\min}{V}=\left[\frac{\Delta Vcement}{Vcement}+\frac{\Delta Vrubberpowder}{Vrubber}\right] \qquad (۲)$$

برای رسیدن به حالتی که هیچ تغییری در حجم سیمان به وجود نیاید، معادله بالا باید برابر صفر شود.

$$\frac{\Delta Vcement}{Vcement}=-\left[\frac{\Delta Vrubberpow\ er}{Vrubber}\right]_{P,T} \qquad (۳)$$

دراین معادله P,T دما وفشار اطراف می‌باشند. در صورتیکه منطقه حاوی گاز باشد، از فشار سازند به جای P استفاده می‌شود .

نمودار۲ تغییر در حجم سیمان را با درصد پودر لاستیک اضافه شده به صورت شکل کلی نشان می‌دهد. به طور نظری این خط باید یک خط مستقیم با شیب ۴۵ درجه باشد که در آن تغییر شیب نشان دهنده مقدار پودر لاستیکی است که باید اضافه شود تا از شکافهای میکروسکوپی جلوگیری شود.



نمودار۲- منحنی تغییرات حجم سیمان نسبت به پودر لاستیک اضافه شده

تعدادی آزمایش با استفاده از سیمان کلاس G تحت شرایط چاه انجام شد و نتایج نشاندهنده موارد زیر می‌باشند را نشان می دهند:

۱- افزودن هر نوع ماده (به‌جزمواد بی اثر) باعث تغییر در معادله واکنش سیمان می‌شود. بنابراین ضروری است که حداقل مقدار افزودنی ها استفاده شود.
۲- آزمایش ها نشان می‌دهند که مواد کنترل کننده افت صافی به اندازه ای کم استفاده شوند که موجب تشکیل یک لایه نازک بین سیمان و لوله جداری چاه نشوند و بایستی به اندازه ای کافی باشند که از هرزروی در محیط متخلخل جلوگیری کنند بهتر است. این قبیل کارهای آزمایشگاهی، قبل از هر نوع سیمانکاری، در منطقه نفتی انجام شوند و همچنین چند آزمایش باید تحت شرایط دما و فشار حاکم بر لایه انجام شود تا مقدار آب از دست رفته قبل و بعد از افزودن مواد کنترل کننده مشخص شود. سپس مقدار آب اضافی به اندازه مقدار آب از دست رفته اضافه شود تا هرزروی جبران شود. این مقدار آب برای تکمیل واکنش آب و سیمان مورد نیازاست.
۳- برای جبران اثر پلیمر هایی که آب اضافی را محصور می کنند بایستی به اندازه ۲۰-۳۰ درصد آب اضافی تر در نظر گرفت.

طراحی دو غاب سیمان

دو روش برای طراحی دو غاب سیمان وجود دارد که عبارتند از:

طراحی به روش وصله های چند گانه(چندین نوع دوغاب)

اگر از لحاظ عملی طراحی چندین وصله سیمانی برای هر کدام از مناطق امکان پذیر باشد، بنابراین برای هر منطقه مجموعه ای از آزمایش ها تحت شرایط مخزن(دما،فشار، تخلخل ونفوذپذیری) باید انجام شود.
در چنین مواردی هر کدام از وصله های سیمانی بایستی با در نظر گرفتن شرایط مخزن با مقادیر مختلفی از پودر لاستیک طراحی و مرحله به مرحله در منطقه نفتی تزریق شوند.

دو غاب سیمان واحد

در صورتی که بخواهیم تنها از یک دو غاب سیمان استفاده کنیم بایستی برای تعیین حداکثر انقباض، مجموعه ای از آزمایشات صورت گیرد تا مقدار درست پودر لاستیک برای افزوده شدن در یک مرحله به کل سیمان تعیین شود.
جدول ۱ مجموعه ازآزمایش ها را که تحت شرایط دما و فشار متفاوت انجام شدند نشان می‌دهد که با کاهش فشار آخرین انقباض سیمان برابر با ۴/۱۴ سی سی بر ۴۲۰ سی سی از نمونه سیمان می باشد (این بدان معنی است که آزمایش دیگری لازم نیست). برای یافتن مقدار حداکثر کاهش حجم در فشار سطح بایستی داده های این جدول را رسم کرد و سپس با برونیابی کردن مقدار آن را تعیین کرد و سپس معادله (۳) طبق توضیح زیر به کاربرده شود.

$\Delta Vcement$: برونیابی مقدار تغییر حجم از نمودار۳ در فشار سطح و دمای مخزن .

$Vcement$: حجم سیمان به کار رفته در آزمایش (در اینجا ۴۲۰ سی سی)

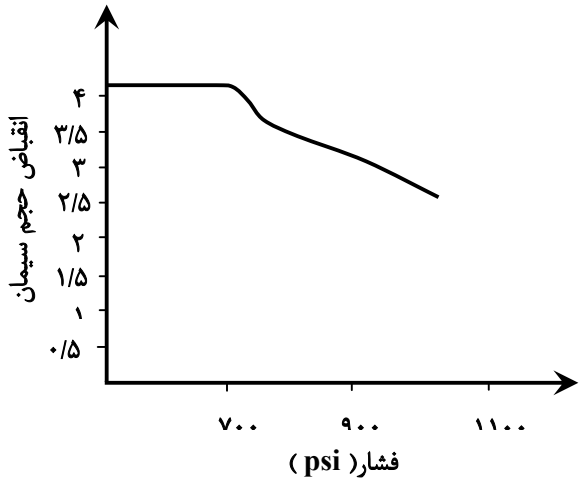
$Vrubber$: حجم پودر لاستیک افزوده شده به سیمان برای جبران کاهش حجم

$\Delta Vrubber$: تغییر در حجم لاستیک افزوده شده به محلول سیمان تحت دما و فشار اعمال شده

جدول ۱- آزمایش ها مختلف برای تعیین حداکثر انقباض سیمان

Experiments Conducted	Applied Pressure (psi)	Total Contraction cc/420cc sample	Applied Temperature (° F)
۱	۱۰۰۰	۲/۶	۲۰۸

۲	۹۰۰	۳/۱	۲۰۰
۳	۸۰۰	۳/۴	۲۰۰
۴	۷۵۰	۳/۵۹	۲۰۰
۵	۷۰۰	۴/۱	۲۰۰
۶	۶۸۰	۴/۱۲	۲۰۶
۷	۶۷۰	۴/۱۴	۲۰۰
۸	۶۵۰	۴/۱۴	۲۰۳



نمودار۳- منحنی تغییرات کاهش حجم سیمان در فشارهای مختلف

نتایج

۱-آزمایش ها مشخصی قبل از عملیات سیمانکاری واقعی بایستی تحت شرایط چاه انجام شود.

۲-برای محاسبه حجم الاستومر بایستی از فرمول ذکر شده استفاده کرد که اگر به درستی دنبال شود می تواند عملیات سیمانکاری را بهینه کند.

۳-افزودن سه ماده جدید به سیمان می تواند از هر نوع مهاجرت گاز جلوگیری کند ولی نیازمند طراحی دقیق است.

منابع

[1] Sabins;F.L;Tinsley;J.M.and Sutton; D. ransition Time OF Cement Slurries Between the Fluid and Set States. Paper SPE 39279;PP.875-881, 1982

[2] Buraik; K.A.; Abdulqer;K.A.and Basibes; R. Prevention OF Shallow Gas Migration Through Cement. Paper SPE 47745, 1998.

[3] Boumgarte;C.;Thiercelin;M.;and Klaus;D. Case studies OF TO Prevent Micro annular Formation. Paper SPE 56535,1999.

[4] Robert; M.;. Gas Flow in Cements. Paper SPE 11207,1985.

[5] Stewart; R. B;and Schouten; F.C. ; Gas Invasion and Migration in Cemented Annuli.Paper SPE Drilling Engineering. PP.77-82, 1988.

[6] Jennings; S.; and Ansari; A.; Gas Migration After Cementing Greatly Reduced. Paper SPE, 2003.