



بررسی تأثیر دوغاب سیمان مناسب به منظور مقابله با پدیده نفوذ گاز در میادین گازی شرق ایران

بیژن هنرورد | دانشگاه علوم تحقیقات فارس

علی مرادی | مجتمع پتروشیمی شیراز

چکیده

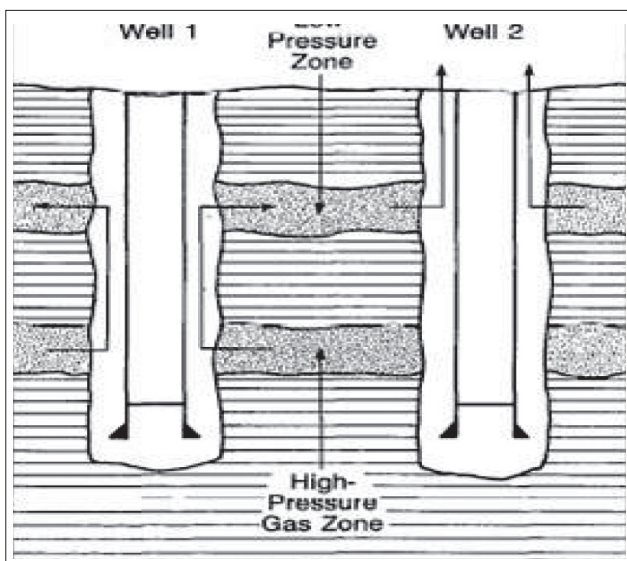
با توجه به اینکه دوغاب مورد نیاز در سیمان کاری لوله آستری چاه‌ها به طور عمده دوغاب سبک وزن است، بر اساس بررسی‌های کیفی حاصل از فرمولاسیون دوغاب سیمان لوله آستری برخی از چاه‌ها، علت مهاجرت گاز نامناسب بودن دوغاب طراحی شده، بوده است. لذا به منظور جلوگیری از این پدیده، دوغابی با استفاده از کلیه افزایش‌های سیمان و امکانات موجود و شرایط حاکم بر چاه طراحی شده که از کارایی قابل قبولی برخوردار است. همچنین با استفاده از افزایش‌های جدید و "تکنولوژی توزیع دانه‌بندی ذرات"، دوغابی طراحی و پیشنهاد شده و عوامل مهم در مهاجرت گاز و نشت آنرا به حداقل رسانده است. هدف این مطالعه بررسی دلایل نفوذ گاز در سیمان و همچنین معرفی فرمولاسیونی مؤثر جهت جلوگیری از نفوذ و مهاجرت گاز می‌باشد.

واژگان کلیدی | سیمان سبک، مهاجرت گاز، افت صافی، مقاومت ژله‌ای استاتیک

مقدمه

آنها بین (۹۰ تا ۱۱۱ pcf) باشد. سبک‌ترین دوغاب خالصی که می‌توان ساخت، سیمان کلاس C با نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵۶ و به وزن ۱۱۱ pcf می‌باشد. ساده‌ترین راه سبک کردن دوغاب سیمان، افزودن آب به آن است ولی با این کار نسبت آب به سیمان افزایش یافته و باعث کاهش گرانروی، مقاومت فشاری سنگ سیمان و کاهش تأثیرگذاری افزودنی‌هایی نظیر تسریع‌کننده‌ها و کندکننده‌ها و کاهش‌دهنده‌های

مهاجرت یا نشت گاز در دالیز سیمان شده در میادین گازی مشکلی اساسی به شمار می‌رود که کنترل کردن آن بسیار مشکل است. علاوه بر آن، این پدیده برای محیط زیست نیز مضر است. همچنین هزینه‌های زیادی برای سیمان کاری تزریقی^۱ این گونه چاه‌ها صرف شده که در اغلب موارد هم مؤثر نبوده است. سیمان کاری تزریقی جهت کامل کردن عملیات سیمان کاری اولیه لوله‌های جداری یا آستری است که با موفقیت صورت نگرفته باشد. در این عملیات دوغاب با فشار به پشت لوله‌های جداری یا مشبک‌ها تزریق می‌شود. در مخازن گازی به علت افت فشار مخزن و بالا بودن وزن دوغاب همواره با هرزروی شدید مواجه هستیم که برای مقابله با این مشکل باید وزن دوغاب سیمان به کمتر از ۱۰۰ pcf کاهش یابد. با توجه به اینکه دوغاب مورد نیاز در سیمان کاری لوله آستری چاه‌ها عمدتاً دوغاب سبک وزن است، تحقیقات گسترده‌ای بر روی مواد افزودنی سبک وزن که قادر به ایجاد استحکام تراکمی سریع و بالا باشند انجام شده است. با توجه به اینکه نفوذ و مهاجرت گاز پس از سیمان کاری اولیه از مهم‌ترین مسائل حفاری چاه‌های نفت و گاز بوده است، عدم طراحی مناسب فرمولاسیون دوغاب سیمان از عمده‌ترین دلایل نفوذ گاز می‌باشد.



۱ - دوغاب‌های سبک وزن

دوغاب‌های سبک وزن سیمان به دوغاب‌هایی گفته می‌شود که وزن

۱ | دولایه مختلف مهاجرت گاز



افت صافی و در نتیجه طولانی شدن زمان نیم‌بند شدن سیمان می‌شود. بنابراین رقیق کردن دوغاب راه حل مناسبی برای سبک کردن آن نیست. افت صافی مقدار آبی است که سیمان در شرایط دما و فشار از دست می‌دهد که به صورت استاتیکی و دینامیکی قابل اندازه‌گیری است.

۲- روش‌های سبک کردن دوغاب

برای سبک کردن دوغاب سیمان امروزه سه روش وجود دارد که دو روش اول معمول و مورد علاقه اکثر شرکت‌هاست:

روش اول: استفاده از افزودنی‌های آب‌خواه یا Extender

روش دوم: استفاده از افزودنی‌های سبک وزن جامد در دوغاب برای کاهش وزن

روش سوم: استفاده از هیدروکربورهای مایع مانند گازیول یا نفت سفید با وزن مخصوص کمتر از یک و ایجاد امولسیون آنها در آب هم‌چنین استفاده از تزریق گاز نیتروژن به سیمان حفاری روش دیگری برای سبک کردن غیر مستقیم دوغاب است که به دلیل پیچیدگی روش و نیاز آن به تجهیزات خاص و پرسنل متخصص چندان متداول نیست.

۳- دلایل استفاده از دوغاب سبک

دلایل استفاده از دوغاب‌های سبک را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- کاهش فشار هیدرواستاتیک ستون سیمان برای جلوگیری از شکستن طبقات و هرزروی
- کاهش وزن ستون سنگ سیمان پشت لوله جداری به دلیل معلق بودن رشته‌های جداری
- جلوگیری از ایجاد کانال جهت حرکت گاز در حالتی که طول رشته جداری زیاد است
- جلوگیری از اعمال فشار زیاد توسط پمپ‌ها و جلوگیری از پاره شدن لوله‌ها یا خمیدگی آنها

۴- روش‌های طراحی دوغاب‌های سبک سیمان

۴-۱- طراحی دوغاب‌های سبک با استفاده از Light Creat

Light Creat دوغاب‌هایی با چگالی پایین هستند و برای سیمان کاری سازه‌های ضعیف یا تک مرحله‌ای کردن سیمان کاری در بعضی از لوله‌های جداری مفید هستند. این دوغاب‌ها که در وزن‌های ۷۲/۵ تا ۹۷ pcf ساخته می‌شوند، مقاومت فشاری را سریع‌تر افزایش داده و زمان انتظار سیمان را کاهش می‌دهند.

مقاومت فشاری، مقاومت سیمان در مقابل نیروی فشاری وارده از سمت سازند است. زمان انتظار سیمان فاصله زمانی است که دوغاب از حالت سیال هیدرولیک واقعی به توده‌ای با ویسکوزیته بالا و دارای بعضی

از خواص جامدات تغییر وضعیت می‌دهد.

۴-۲- طراحی دوغاب‌های سبک وزن با استفاده از گاز نیتروژن

در این روش گاز نیتروژن به طور مستقیم دوغاب سیمان را سبک نمی‌کند، بلکه با سبک کردن گل داخل چاه این امکان را به دوغاب می‌دهد که با وزن زیادتری وارد چاه شود. نیتروژن از نظر شیمیایی گازی بی‌اثر است و ورود آن به گل حفاری از نظر خوردگی مشکلی ایجاد نمی‌کند بلکه باعث کاهش وزن گل و افت فشار هیدرواستاتیک ناشی از آن بر سازندها می‌شود.

۴-۳- طراحی دوغاب‌های سبک وزن با استفاده از حباب‌های شیشه‌ای^۲

حباب‌های شیشه‌ای ذراتی شفاف هستند که اندازه متوسط آنها مشابه سیمان است. با استفاده از حباب‌های شیشه‌ای می‌توان دوغاب‌هایی با چگالی ۷/۵ پوند بر گالن تهیه کرد. به دلیل اینکه در سیمان مقدار آب کافی جهت پمپ کردن دوغاب به کار برده می‌شود، آب اضافی مورد نیاز بسیار کمتر از آب لازم جهت کم کردن چگالی دوغاب است و به همین دلیل این سیمان نسبت به سایر سیمان‌های سبک وزن استحکام بیشتری دارد.

۴-۴- طراحی دوغاب‌های سبک وزن با استفاده میکروسفرها^۳

میکروسفرها تکه‌های کروی در اندازه‌های میکرون هستند که به علت ریز بودن و چگالی کم جهت سبک کردن دوغاب سیمان استفاده می‌شوند. میکروسفرها را می‌توان هم از مواد طبیعی و هم از مواد مصنوعی تهیه کرد. دوغاب‌های ساخته شده با این مواد افزودنی در اوزان پایین خواص مقاومتی دارند و چگالی دوغاب را به شدت کاهش داده و برای سازندهای شکننده، سست و ضعیف بسیار مناسب هستند. این ذرات از لحاظ اندازه مشابه ذرات پودر سیلیکای^۵ زبر هستند. پودر سیلیکای پودری است با ذرات کروی ریز که برای تهیه سیمان و بتن، به عنوان پرکننده و سبک‌کننده استفاده می‌شود و به دلیل اندازه و توزیع ذرات، مزایای متعددی دارند. به عنوان مثال استحکام تراکمی زود هنگامی به وجود می‌آورند، خیس شدن آنها ساده است، به عنوان مانعی در برابر هرزروی عمل می‌کنند و نیز می‌توان به وسیله آنها دوغاب‌هایی با چگالی کمتر از آب ساخت.

۵- مشخصات نمونه‌ای از دوغاب استفاده شده در میدان

مشکل نفوذ گاز معمولاً در مرحله کاری جداری آستری اتفاق می‌افتد که لایه تولیدی در محدوده آن قرار دارد. مشخصات نمونه‌ای از سیمان استفاده شده در مرحله کاری آستری در

دوغاب مربوطند. برای رسیدن به هدف این مطالعه نیازهای عملیاتی که باید در طراحی و نتایج آزمایشات به آنها رسید از این قرارند: خواص رئولوژیک سیمان، زمان نیم بند شدن مناسب، کوتاه بودن زمان انتقال (کمتر از ۲۰ دقیقه)، افت صافی کمتر از ۵۰ میلی لیتر در ۳۰ دقیقه و آب آزاد کمتر از ۳ میلی لیتر. برای رسیدن به این نتایج ۳ فرمولاسیون دوغاب طراحی و خواص آنها بررسی شده است. در جدول ۲- مشخصات دوغاب‌های معرفی شده آمده است.

برای درک بهتر نتایج، در جدول شماره ۳- نتایج حاصل از آزمایش‌های هر ۳ فرمولاسیون در کنار یکدیگر آورده و با هم مقایسه شده‌اند.

۷- تحلیل و بررسی نتایج آزمایش‌ها

پدیده نفوذ گاز هیچ‌گاه به صورت اتفاقی رخ نمی‌دهد. حتی در بهترین طراحی‌ها و با انجام بهترین عملیات سیمان کاری اولیه، ممکن است بعد از سیمان کاری به چند دلیل نفوذ گاز اتفاق بیافتد. برای بررسی این مشکل در میدان گازی، باید پیش‌نیازهایی نظیر پاک‌سازی گل حفاری، حفاری مناسب حفزه و... با دقت رعایت شوند. برای این منظور، بررسی دوغاب اشاره شده در فرمول-۱، نشان می‌دهد تخلخل و نفوذپذیری بسیار بالا و طولانی بودن زمان انتقال دوغاب از عوامل اصلی نفوذ و مهاجرت گاز در طول ستون سیمان بوده که این شواهد به همراه طولانی بودن زمان بندش سیمان و پایین بودن مقاومت تراکمی آن و همچنین بالا بودن میزان افت صافی دوغاب، حاکی از ضعف شدید در طراحی و مهندسی دوغاب دارد. در خصوص فرمول-۲ همان طور که می‌دانیم، در دوغاب‌های ضد نفوذ یا ضد مهاجرت گاز بهترین زمان انتقال دوغاب از حالت سیال هیدرولیک به جامد، باید کمتر از ۲۰ دقیقه باشد. اگر چه طراحی این دوغاب نسبت به دوغاب فرمول-۱ از نظر تخلخل بسیار مطلوب تر است ولی هنوز از نظر زمان انتقال، پتانسیل نفوذ گاز در طراحی دوغاب به چشم می‌خورد. با توجه به مفهوم زمان انتقال به عنوان تعیین کننده‌ترین ویژگی سیمان برای کنترل گاز، در فرمول-۳ مشاهده می‌کنیم که زمان انتقال این دوغاب ۱۷ دقیقه است. هر چه سیمان زمان کوتاهتری در وضعیت انتقال قرار گیرد احتمال نفوذ گاز کمتر خواهد بود. اگر از لحاظ افت صافی، خواص رئولوژیک، آب

جدول-۱ آمده است. باید توجه داشت که بررسی شرایط چاه در زمان سیمان کاری و طراحی دوغاب استفاده شده می‌تواند دلیل عدم موفقیت را بازگو نماید. به عبارت بهتر برای موفقیت آمیز بودن یک عملیات سیمان کاری و عدم ورود گاز چندین عامل مهم باید مد نظر قرار گیرند که عبارتند از:

- پاک‌سازی دقیق چاه و دیواره آن از باقیمانده‌های گل از طریق: حفاری دقیق چاه، استفاده از تکیه‌گاه‌های لوله‌های جداری ۶ برای وسط نگه داشتن لوله‌ها، جت‌ها ۷ و استفاده از خراشنده‌ها ۸ و تراشنده‌ها ۹
- چگالی مناسب
- کنترل دقیق افت صافی و آب آزاد سیمان بر طبق استانداردها
- وجود باند مناسب سازند - سیمان - لوله جداری
- اضافه کردن مواد مورد نیاز برای جبران انقباض سیمان (مانند الاستومرها)
- کنترل و کوتاه کردن زمان انتقال سیمان

در این مقاله فرض می‌شود که مراحل کنترل نفوذ گاز تا پیش از شروع عملیات پمپ سیمان کاملاً انجام شده و از این حیث مشکلی وجود ندارد. هم‌چنین سعی شده موارد مورد اشاره در بالا در دوغاب‌های طراحی شده رعایت شوند. افت صافی، آب آزاد، خواص رئولوژیک و... از طریق آزمایشات، کنترل و بهینه‌سازی شده‌اند و در نهایت بهترین نتیجه معرفی شده است.

۶- دستورالعمل طراحی دوغاب و انجام آزمایش‌ها

برای طراحی و فرمولاسیون هر دوغاب سیمان حفاری، باید نیازها و پیش‌نیازهای عملیاتی بر آورده شوند. بخشی از این نیازها و پیش‌نیازها به قبل از انجام عملیات سیمان کاری و بخشی به عملیات سیمان کاری و خواص

۱ | نمونه‌ای از دوغاب استفاده شده در سیمان‌کاری آستری

شرایط چاه و میدان	خواص و ترکیبات دوغاب
نوع گل: پایه آبی	نوع سیمان: کلاس D
وزن گل: ۹۵ pcf	آب: ۸۰۰ CC
وزن سیمان: ۱۰۰ pcf	بتنویت: ۸۰ gr
دمای ته چاه: ۲۵۰ °F	HR-7: ۱۵gr
فشار هیدرواستاتیکی: ۸۰۰ psi	سیمان کلاس D: ۱۰۰۰ gr

۲ | ترکیب دوغاب‌های طراحی شده

Cement Quantum (gr)	Water (cc)	Friction reducer (gr)	Antigas (cc)	Fluid loss (gr)	Retarder (gr)	Light weight additive (cc)	Extender (gr)	Cement Class (gr)	Formulation
۱۰۰۰	۸۰۰	-	-	-	۱۵	-	۸۰	D	۱
۸۰۰	۸۵۰	۱۰	-	۲۰	۱۰	۲۰۰	۲۰	G	۲
۱۰۰۰	۴۲۰	۱۵	۱۰۰	۱۰	۱۰	۲۰۰	۱۰۰	G	۳



۳ مقایسه نتایج مربوط به آزمایش‌های مختلف

فرمولاسیون	وزن (PCF)	آب آزاد (cc)	نقطه واروی (lb/100ft ²)	ویسکوزیته پلاستیک (cp)	افت صافی دینامیکی (cc)	زمان نیم بندش (Min.)			تخلخل %	نفوذ پذیری (mD)	زمان مقاومت ژلگی (min)	مقاومت تراکمی		
						۳۰ BC	۷۰ BC	۱۰۰ BC				24hr.	48hr.	72hr.
فرمولاسیون ۱	۱۰۰	۵	۲	۱۳	۱۴۲	>۷۰۰	>۷۰۰	>۷۰۰	۶	۰/۱	۸۰	۰	۲۰۰	۵۴۰
فرمولاسیون ۲	۱۰۰	۴	۹	۱۳۵	۳۰	۲۸۰	۳۱۰	۳۳۰	۱۵	۰/۰۱	۳۵	۲۰۰	۴۲۰	۶۵۰
فرمولاسیون ۳	۱۰۰	۰	۸	۸۲	۱۲	۲۳۰	۲۸۰	۳۰۰	۸	۰/۰۰۱	۱۷	۶۰۰	۹۵۰	۱۵۰۰

موجود در زمینه مهاجرت گاز را داراست اما به علت بندش اولیه کم، مقاومت نسبی کم و وجود کانال‌های ریز، بهترین پیشنهاد ممکن برای سیمان کاری نیست.

۳- فرمول-۳ به صورت تنوری ساخته شد. مشکل این فرمول نیز مقاومت نسبی کم است. اما از سویی دیگر در زمینه افت صافی و آب آزاد پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است.

۴- با توزیع دانه‌بندی ذرات، مقدار تخلخل و نفوذپذیری کاهش و مقاومت به شدت افزایش می‌یابد.

۵- فرمول‌های-۲ و ۳ در مهار مهاجرت گاز از کارآیی نسبی برخوردارند اما نباید در چاه‌های جدید با شرایط احتمالی متفاوت استفاده شوند.

آزاد و تراوایی نیز نتایج آزمایش‌ها بررسی شود مشاهده می‌کنیم که این دوغاب دارای افت صافی قابل قبولی (کمتر از ۵۰ میلی‌لیتر در ۳۰ دقیقه و آب آزاد صفر و تراوایی ۰/۰۰۱ میلی‌داری) بوده و خواص رئولوژیک آن نیز در محدوده قابل قبولی قرار دارد.

نتیجه گیری

۱- فرمول ۱-، بر اساس استانداردهای مهاجرت گاز کاملاً مردود است. بنابراین می‌توان گفت افزون بر تمام مشکلات حفاری به طور قطع نفوذ گاز در سیمان قابل پیش‌بینی است.

۲- فرمول-۲ با استفاده از افزایش‌های موجود از بهترین فرمول‌های ممکن است. این فرمول با وجود آنکه بسیاری از استانداردهای

پانویس‌ها

¹ali.moradi77@yahoo.com

²squeeze cementinh

³glass bubble

⁴microspheres

⁵silica flour

⁶casing centralizer

⁷fluid jet

⁸scratcher

⁹scrapers

منابع

- [1] Scott S. Jennings, Adel A. AL-Ansari, Abdullah S. AL-Yami: "Gas Migration after Cementing Greatly Reduced", SPE Paper 81414, (2003)
- [2] Rober C.smith;Charles A.powers;Terrell A.Dobkings.A New Ultra-Light weight cement with super strength. paper SPE 8256;(2000)
- [3] Drecq P. Parcevaux, P., Rae, P.: "Prevention of Annular Gas Migration", Well Cementing, E.B. Nelson (ed.), Schlumberger Educational Services, Houston, Texas (1990)

- [4] Robert;M.gas flow in cement.paper .paper SPE 11207;(1985)
- [5] N.R.Loefler.foamed cement :A second Generation.paper SPE 12592;(1984)
- [6] Hossam A. Elmoneim Schlumberger Dowell, S. Zaki ADMA-OPCO, Hussein Al – Arda Schlumberger Dowell.Cementing the deepest 20 inch Casing in Abu Dhabi using a combination of Noval Light Weight Slurry and Fiber.paper SPE 87283 ;(1984)