

اثر مقاومت ژله ای دوغاب سیمان در جلوگیری از نفوذ گاز

حمید سلطانیان

مرکز مطالعات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت

E-mail: soltanianh@ripi.ir

چکیده

روشهای آزمایشی مختلفی ابداع شده است. برای مشخص شدن شرایط مورد نیاز سیمان برای جلوگیری از ورود گاز نیز آزمایشهای ویژه ای طراحی شده اند. در این مقاله روشهای آزمایشی ابداع شده برای شناخت این فاصله زمانی (حالت انتقالی دوغاب سیمان) توصیف شده اند. تأثیر عوامل زیاد و مختلفی همانند زمان پمپ کردن، زمان جا به جایی، ترکیب دوغاب و تغییرات دما و فشار بر روی زمان انتقال، مورد بررسی قرار گرفته اند ضمناً روش استفاده از داده های سرعت زمان انتقال و افزایش استحکام ژله ای استاتیک برای کمک به پیش بینی جریان گاز در فضای حلقوی و ارزیابی مواد کنترل کننده آن نیز مورد بحث قرار گرفته اند.

بررسی ها و تحقیقات قبلی که بر روی جریان گاز در فضای حلقوی انجام گرفته، نشان داده اند که رفتار سیمان بین حالت سیالیت و حالت بندش، عامل کنترل کننده ورود گاز می باشد. این فاز انتقالی سیمان قبلاً در طراحی دوغاب در نظر گرفته نمی شد زیرا که اهمیت آن به طور کامل ناشناخته و روشهای آزمایش برای تعیین آن ارائه نگردیده بود. برای پیش بینی جریان گاز در فضای حلقوی و برای طراحی دوغابهای سیمانی که قادر به کمک و جلوگیری از جریان گاز در فضای حلقوی باشند، ابتدا بایستی مشخصات دوغاب در ابتدا و انتهای فاصله زمانی حالت انتقال از حالت سیالیت به جامد شدن مشخص باشد. برای مطالعه آغاز فاصله زمانی حالت انتقال،

The Effect of Gel Strength of Cement Slurry in Preventing Gas Migration

H. Soltanian

Research Institute of Petroleum Industry

P.O.BOX: 18745-4163, Tehran, Iran

soltanianh@ripi.ir

ABSTRACT

Previous research on annular gas flow has shown that the behavior of cement between its fluid and set states is the controlling factor that may allow gas entry. This transition phase of cement previously has not been recognized in slurry design since its importance was not fully understood and since test procedures for its definition has not been presented or established.

To predict the occurrence of annular gas flow and to design cement slurries capable of helping to prevent annular gas flow, it is necessary to define the slurry characteristics at the beginning and the end of this transition period as well as the period of time of the transition state. Test techniques have been

developed to study the start of this transition period. Additional tests have been conducted to define the condition of cement required to prevent gas entry. The test techniques developed to define this transition period of cement slurry are described.

Numerous job variables such as pumping time, placement time, slurry composition, and circulating temperature and pressure were investigated to evaluate their influence on transition time. A method for using transition time and static gel strength (SGS) development data to help predicting annular gas flow and to evaluate annular gas flow control materials, is discussed.

مقدمه

درک مکانیسم جریان گاز از راه ستون سیمان و پیش بینی جریان گاز، به دانش بالا درباره رفتار سیمان درون چاه نیاز دارد (همچنین خواص معمول دوغاب و داده های چاه و فشار سازند).

به طور خلاصه، زمان انتقال، فاصله زمانی است که دو غاب از حالت سیال هیدرولیک واقعی به توده ای با گرانیوی بالا تغییر وضعیت می دهد و دارای بعضی از خواص جامدات می باشد. زمان انتقال موقعی شروع می شود که SGS (استحکام ژله ای) برای محدود کردن و کاستن فشار هیدرواستاتیک، به اندازه کافی رشد کند و زمانی پایان می یابد که سیمان، خواص جامد را برای کنترل نفوذ گاز از طریق ستون سیمان به اندازه کافی به دست آورده باشد. با این تعریف از زمان انتقال، می توان از جریان گاز در فضای حلقوی، در صورتی که فشار ستون سیمان در منطقه پر فشار گاز بزرگتر و یا معادل فشار گاز مخزن باشد، ممانعت به عمل آورد (تا هنگام زمان پایان انتقال). امروزه با دستگاه های جدید، امکان محاسبه حداکثر افت فشار که در ماتریکس سیمان در طول زمان انتقال رخ می دهد، قابل اندازه گیری می باشد [۱،۲].

فشار سیمان را با فشار گاز سازند می توان تا پایان زمان انتقال مقایسه کرد. مراحل اساسی شبیه سازی ریاضی پدیده های رخ داده شده به قرار زیر است:

۱- به محض اینکه دو غاب سیمان درون چاه پمپ می شود، افت صافی دو غاب افزایش می یابد. اما تا زمانی که دوغاب، حالت سیالیت خود را حفظ کند در افت فشار هیدرواستاتیک هیچگونه تاثیری نخواهد داشت.

۲- افت فشار هیدرواستاتیکی همزمان با انتقال سیمان از حالت سیالیت به ژله ای شدن اتفاق می افتد و با رشد مقاومت ژله ای استاتیکی میزان کاهش فشار نیز افزایش خواهد یافت. در طول دوره انتقال از حالت سیالیت به ژله ای شدن همزمان با افت فشار هیدرواستاتیکی، کاهش حجم آب میان ماتریکس سیمان نیز رخ می دهد، همان گونه که می دانیم این کاهش حجم به

دلیل هیدراتاسیون و افت صافی دوغاب به وجود می آید که این مساله سبب پایین آمدن فشار تخلخل دوغاب سیمان می شود [۳،۵].

۳- افت فشار در نتیجه SGS (حداکثر افت فشاری که قبل از حرکت دوغاب می تواند اتفاق بیفتد) از افت فشار ناشی از کاهش حجم بزرگتر می شود. در این لحظه سیمان در منطقه پر فشار به طور کامل از فشار هیدرواستاتیک منفک می شود (فشار هیدرواستاتیک ستون سیمانی به سیمان منتقل نمی شود) و افت فشار تابعی از کاهش حجم آب و تراکم پذیری (فشار پذیری) دو غاب است [۴].

۴- تغییرات فشار تا زمان بعد از پایان زمان انتقال دو غاب ادامه می یابد. اگر فشار محاسبه شده سیمان قبل از پایان زمان انتقال به زیر فشار منطقه گاز افت کند جریان گاز در فضای حلقوی اتفاق خواهد افتاد.

۵- معادله زیر افت فشار در اثر مقاومت ژله ای استاتیکی (SGS) را نشان می دهد:

$$(P_H - P_L) = SGS \times 4L/d$$

$$(d = d_h - d_p)$$

به عبارت ساده تر معادله افت فشار در نتیجه افت حجم و تراکم پذیری به شرح زیر می باشد:

$$P_H - P_L = \frac{(V_{rf} - V_r)}{F} \quad (۳)$$

معادله فوق کاهش فشار در اثر قطع کامل فشار هیدرواستاتیک را نشان می دهد.

کاهش فشار مجاز برای جلوگیری از جریان گاز در فضای حلقوی، باید از دو افت فشار مطابق با معادلات (۱) و (۳) کوچکتر باشد.

مثال روش پیش بینی با معادله (۱):

فرض کنید گاز منطقه، در عمق ۱۰۰۰ متر (۳۲۸۰ ft) باشد. فشار فوق تعادلی (over balance) هیدرواستاتیک اولیه

است، به ویژه برای اندازه گیری SGS بعد از یک فاصله زمانی، برای شبیه سازی عملیات سیمانکاری طراحی شده است. محدوده دما و فشار دستگاه مذکور به ترتیب 160°C و 5000 Psi می باشد.

آزمایش نفوذ گاز تحت فشار پایین

یک سری از آزمایش ها در مقیاس Bench تحت شرایط ساده اتمسفریک با دستگاه نشان داده شده در تصویر ۲ انجام شده است. این آزمایش ها با این هدف انجام شده اند که تعیین کنند چه مقدار SGS می تواند از نفوذ گاز در سیمان جلوگیری و یا میزان آن را محدود کند. یک بشر 2000 cc با یک سرنگ تزریق 50 cc متصل به یک لوله 3 mm که تا انتهای بشر فرو رفته است مجهز شده اند. وقتی که SGS اندازه گیری شده، به مقادیر از قبل انتخاب شده رسید، هوا به وسیله مسیر لوله 3 mm به ته بشر و در داخل دوغاب تزریق می شود. اندازه گیری SGS و تزریق هوا تا زمانی که دیگر هیچ هوایی بعد از تزریق هوا به داخل دوغاب نفوذ نکند، ادامه می یابد.

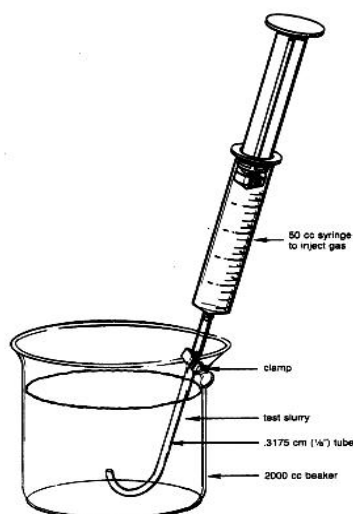
3500 kpa (500 psi) می باشد. قطر چاه 176 mm (7 in)، قطر casing 127 mm (5 in)، SGS در زمان t معادل 50 Pa ($104\text{ lbf}/100\text{ ft}^2$) است. افت فشار حاصل از این پدیده از معادله (۱) به دست می آید:

$$P_H - P_L = 50 \times 4 \times \frac{1000}{(0/178 - 0/127)} = 3920\text{ KPa} (569\text{ Psi})$$

یعنی فشار تخلخل سیمان کمتر از فشار گاز منطقه است [فشار $3500\text{ KPa} = \text{over balance}$ (500 Psi)] در این صورت گاز در زمان کمتر از t می تواند داخل فضای حلقوی شود. با توجه به اطلاعات آزمایشگاهی که بعداً بحث می شود گاز می تواند به صورت آزاد میان دوغاب سیمان با یک SGS معادل 50 Pa ($104\text{ lbf}/100\text{ ft}^2$) نفوذ کند. بنابراین برای مثال فوق، جریان گاز در فضای حلقوی پیش بینی می شود. برای ایجاد ارتباط بین رشد استحکام ژله ای با زمان انتقال یک دوغاب سیمان، بایستی یک روش منطقی قابل اطمینان برای اندازه گیری استحکام ژله ای نمونه سیمان تحت دما و فشار وجود داشته باشد. هیچ یک از روش های معمول آزمایشگاهی به طور کامل برای اندازه گیری SGS دوغاب تحت دما و فشار بالا مناسب نیستند. دستگاهی که در تصویر ۱ نشان داده شده



تصویر ۱- دستگاه مقاومت ژله ای استاتیکی (SGS)



تصویر ۲- وسیله اندازه‌گیری نفوذ گاز بیکر

بررسی اطلاعات برای اندازه‌گیری زمان انتقال

دوغاب سیمان افت فشار ایجاد می‌شود. همان گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است افت‌های فشار اندازه‌گیری شده به وسیله دستگاه تصویر ۱، تطابق بسیار زیادی با اختلاف فشارهای محاسبه شده از SGS با استفاده از معادله (۱) دارند.

آغاز زمان انتقال موقعی است که دوغاب دیگر شبیه یک سیال حقیقی رفتار نمی‌کند و فشار هیدرواستاتیک را به طور کامل انتقال نمی‌دهد. معادله (۱) بیان می‌کند که با رشد SGS، در

جدول ۱- کاهش فشار و مقاومت ژله‌ای استاتیکی

زمان استاتیک (min)	مقدار SGS اندازه‌گیری شده	کاهش فشار اندازه‌گیری شده (KPa)	افت فشار بدست آمده از معادله (۱) (KPa)
۸	۱۳	۳/۶	۴/۱
۱۰	۱۴	۴/۲	۴/۶
۱۵	۱۸	۵/۲	۵/۶
۲۰	۲۳	۶/۱	۷/۱
۲۵	۲۶	۷/۵	۸/۱
۳۰	۳۰	۸/۵	۹/۴
۳۵	۳۴	۹/۶	۱۰/۷
۴۰	۳۷	۱۱	۱۱/۳
۴۵	۴۹	۱۲/۷	۱۵/۵
۵۰	۵۶	۱۴/۸	۱۷/۵
۵۵	۶۸	۱۸/۲	۲۱/۳
۶۰	۷۹	۲۳/۴	۲۵/۱
۶۵	۱۲۲	۳۰	۳۸/۵
۷۰	۱۳۲	۳۸/۳	۴۱/۶
۷۵	۱۴۵	۴۲/۲	۴۵/۶
۸۰	۱۶۳	۴۳/۷	۵۱/۴

ترکیب دوغاب

به عنوان مثال با شرایط داده شده در جدول ۲، یک استحکام ژله‌ای معادل با 10 Pa ($20/8 \text{ lbf}$) در یک ستون سیمان در عمق 137 m (450 ft) باعث ایجاد کاهش فشاری معادل با $2/5 \text{ MPa}$ ($362/5 \text{ Psi}$) می‌شود. در جدول ۳ و ۴ نتایج یک سری از آزمایش‌های مقاومت ژله‌ای استاتیکی تحت دما و فشار بالا و نتایج آزمایش‌ها، زمان بندش در همان شرایط برای ۱۸ نوع دوغاب مختلف مقایسه شده است. در این آزمایش‌های مقاومت ژله‌ای استاتیکی با استفاده از دستگاه تصویر ۱ و زمان بندش به وسیله کانسیستومتر (تصویر ۳) دما و فشار بالا اندازه‌گیری شده است.

۴۶٪ آب + ۱٪ کلرید کلسیم + ۰/۸ درصد کنترل‌کننده افت صافی + سیمان کلاس G استاندارد API در جدول ۲ نشان داده شده است که چگونه افزایش SGS می‌تواند انتقال فشار را محدود کند مشروط به این که همزمان کاهش حجم نیز صورت گیرد. برای مثال اگر طول ستون سیمان 900 m (3000 ft) باشد SGS معادل با 20 Pa ($41/6 \text{ Lbf}/100 \text{ ft}^2$) می‌تواند فشار حلقوی را 1412 kPa (208 Psi) کاهش دهد. تعریف شروع زمان انتقال، موقعی است که ستون سیمان توانایی خود را در انتقال فشار هیدرواستاتیک به طور کامل از دست می‌دهد.

جدول ۲- افت فشار به عنوان تابعی از مقاومت ژله‌ای استاتیکی و طول ستون سیمان ×

Cement		10 Pa		15 Pa		20 Pa		25 Pa		30 Pa	
(m)	(ft)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)
150	500	118	17	176	26	235	26	294	43	353	52
300	1000	235	35	353	52	470	69	588	87	706	104
450	1500	353	52	529	79	703	104	882	130	1058	156
600	2000	470	69	706	104	941	139	1176	173	1411	208
750	2500	588	87	882	130	1176	173	1470	217	1764	260
900	3000	706	104	1058	156	1412	208	1764	260	2117	312

×افت فشار به صورت کاهش در فشاری که می‌توانسته از میان یک منطقه گاز معین عبور نماید می‌باشد.

جدول ۳- ترکیبات دوغاب (درصد)

Slurry	Cement (API class)	Accelerator	Fluid loss	Silica flour	Dispersant	Retarder	Water
۱	G	-	-	-	-	-	۴۳
۲	G	۱	-	-	-	-	۴۳
۳	G	-	۰/۶	-	-	-	۵۰
۴	G	۱	۰/۶	-	-	-	۵۰
۵	G	-	۰/۸	-	-	-	۴۶
۶	G	۱	۰/۸	-	-	-	۴۶
۷	G	-	۰/۸	۳۵	۰/۷۵	-	۴۸
۸	G	-	۰/۸	۳۵	-	۰/۲	۴۸
۹	G	-	۰/۸	۳۵	۰/۷۵	۰/۲	۴۸

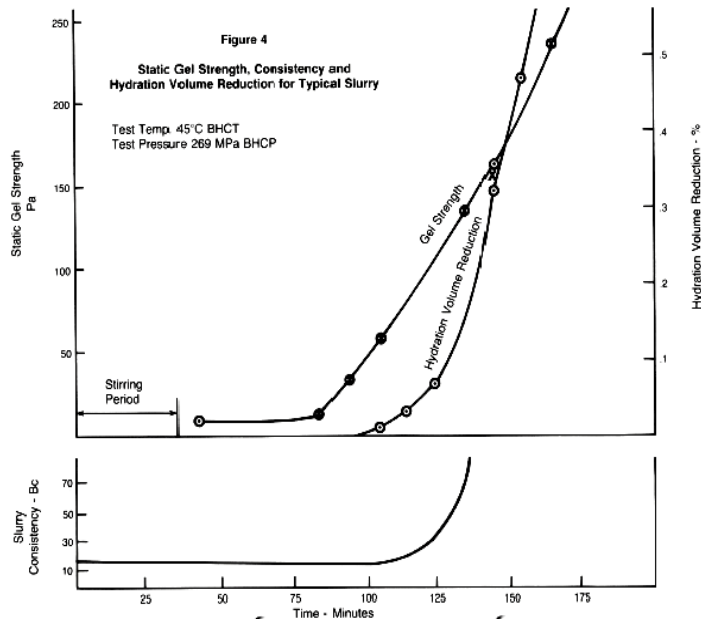
جدول ۴- مقاومت ژله‌ای استاتیکی و زمان بندش دما و فشار بالا

Test	Slurry Composit ion	Mixing Water (%)	BHCT. (oC)	BHCP. (MPa)	Thickening Time 70Bc (hours: minutes)	SGS (Pa)		SGS Time After Mixing (hours: minutes)			
						initial	10 minutes	for 50Pa	for 120Pa	for 240Pa	Stirring Time
۱	۱	۴۳	۳۹	۱۷/۹	۲:۲۹	-	-	-	۲:۰۱	۴:۱۵	۲۱
۲	۲	۴۳	۳۹	۱۷/۹	۱:۲۷	۱۲	۳۶	۰:۴۰	۱:۳۱	۲:۴۱	۲۱
۳	۳	۵۰	۴۵	۲۶/۹	۲:۲۴	۱۷	۱۳	۰:۵۹	۲:۲۰	۳:۴۰	۳۰
۴	۴	۵۰	۴۵	۲۶/۹	۱:۳۰	۷	۷	۱:۰۶	۱:۴۰	۳:۰۰	۳۰
۵	۵	۴۶	۶۲	۳۴/۵	۴:۱۳	۷	۶	۲:۵۰	۳:۴۰	۴:۳۴	۵۴
۶	۶	۴۶	۶۲	۳۴/۵	۱:۵۰	۷	۲۷	۱:۱۵	۱:۵۴	۲:۳۴	۵۴
۷	۵	۴۸	۶۲	۳۴/۵	۵:۳۳	۷	۱۳	۱:۵۰	۳:۰۴	۳:۴۵	۵۴
۸	۶	۴۸	۶۲	۳۴/۵	۳:۱۳	۷	۷	۱:۴۰	۲:۴۴	۳:۲۴	۵۴
۹	۵	۴۶	۷۸	۳۴/۵	۲:۵۴	۷	۷	۲:۰۵	۲:۵۳	۳:۵۲	۷۲
۱۰	۵	۴۸	۷۸	۳۴/۵	۵:۰۵	۷	۱۳	۲:۱۳	۳:۰۲	۳:۴۲	۷۲
۱۱	۷	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۷:۱۵	۱۲	۳۴	۱:۲۵	۳:۱۴	-	۸۴
۱۲	۸	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۲:۱۸	۱۲	۲۲	۱:۵۰	۲:۲۴	۳:۳۴	۸۴
۱۳	۸	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۱:۳۲	۷	۸	۱:۵۰	۲:۲۴	۲:۵۴	۸۴
۱۴	۹	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۷:۱۵	۷	۴۷	۱:۲۵	۳:۱۴	-	۸۴
۱۵	۷	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۲:۳۰	۱۹	۳۵	۱:۴۲	۲:۲۴	۴:۱۴	۸۴
۱۶	۸	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۳:۱۱	۷	۲۱	۱:۵۰	۲:۱۴	۳:۳۴	۸۴
۱۷	۸	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۲:۱۸	۷	۱۵	۱:۵۰	۲:۱۴	۳:۲۴	۸۴
۱۸	۹	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۳:۴۰	۱۱	۲۵	۲:۰۰	۲:۱۴	۳:۲۴	۸۴



تصویر ۳- دستگاه اندازه‌گیری زمان نیم بندش سیمان (Consistometer)

اطلاعات به دست آمده از این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که حدود ۱۰ دقیقه بعد از توقف عمل پمپ کردن، مقاومت ژله‌ای استاتیکی برای ایجاد یک اختلاف فشار قابل توجه معمولاً به میزان کافی رشد می‌کند. برای زمان بندش معمولی و دوغابهایی با افت صافی کم، نمودار ۱ SGS در مقدار متوسط (۵۰ Pa تا ۱۰) پایدار می‌شود. آنگاه به مدت ۳۰ تا ۶۰ دقیقه قبل از زمان بندش C_p ۱۰۰ هیچ افزایش عمده‌ای را نشان نمی‌دهد. به محض اینکه افزایشی در SGS رخ بدهد، مقدار آن معمولاً در عرض ۶۰ دقیقه به میزان ۱۲۰ Pa زیاد می‌شود. همچنین نمودار ۱ نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ای از کاهش



نمودار ۱- مقاومت ژله‌ای استاتیکی و کاهش حجم هیدراسیون دوغاب مخصوص
جدول ۵- مقاومت ژله‌ای استاتیکی بر حسب زمان به هم خوردن

	Thickening	Stirring	SGS		Total Time		
	Time	Time	Initial	10 minutes	(Minutes)		
Slurry	(Hours: minutes)	(Minutes)	(Pa)	(Pa)	50Pa	120Pa	240Pa
۵	۴:۱۳	۵۴	۷	۷	۱۷۰	۲۲۰	۲۴۷
		۹۰	۹	۱۴	۱۲۸	۱۳۹	۱۷۵
		۱۵۰	۶	۱۷	۱۸۲	۲۰۸	۲۴۵
۷	۵:۳۳	۵۴	۶	۱۳	۱۱۰	۱۸۴	۲۲۵
		۹۰	۶	۲۰	۱۴۵	۱۸۸	۲۱۸
		۱۵۰	۱۲	۱۳	۱۶۹	۱۷۹	۲۰۰

۴۸ درصد آب + ۰/۸ درصد کنترل کننده افت صافی + سیمان

کلاس G (استاندارد API)

حجم هیدراسیون (HVR) به طور همزمان با افزایش در مقاومت ژله‌ای استاتیکی اتفاق می‌افتد. بررسی دقیق تر رشد مقاومت ژله‌ای استاتیکی اولیه در جدول ۵ نشان داده شده است.

ترکیبات دوغاب

دوغاب شماره ۵:

آزمایش های فوق در شرایط چاه تحت درجه حرارت ۰C و فشار P=۳۴/۵MPa انجام گرفته است.

اطلاعات نشان می‌دهند که مقاومت ژله‌ای استاتیکی بحرانی که قبلاً توصیف شد در عرض ۱۰ دقیقه بعد از توقف عمل پمپ کردن سیمان اتفاق می‌افتد.

۴۶ درصد آب + ۰/۸ درصد کنترل کننده افت صافی + سیمان
کلاس G (استاندارد API)
دوغاب شماره ۷:

اختلاف بین مقاومت ژله‌ای استاتیکی و زمان بندش اساساً در اثر تغییرات فشار یا دما بر روی دوغابهایی با زمان بندش بین ۲/۵ تا ۴ ساعته خیلی محسوس نمی‌باشد لیکن موقعی که زمان بندش یک دوغاب طولانی تر از حد نرمال می‌باشد (بیش از ۴ ساعت) اختلاف بین زمان SGS و زمان بندش شروع به افزایش کرده و اختلاف بین زمان بندش و مقاومت ژله‌ای بزرگتر می‌شود (آزمایش ۱۴ جدول ۴).

میزان استحکام ژله‌ای مورد نیاز برای جلوگیری از نفوذ برای تمام شش دوغاب از ۱۳۰ Pa تا ۲۲۰ Pa می‌باشد. به واسطه قطر بزرگ (۱۱۴^{mm}) و ارتفاع کوتاه (۱۲۷^{mm}) ستون به نظر می‌رسد که انجام آزمایش تحت شرایط نزدیک تر به شرایط چاه مورد نیاز است.

نتایج

با ارزیابی اطلاعات به دست آمده از آزمایشهای مختلف می‌توان به نتایج ذیل رسید:

۱- SGS معادل ۱۰ Pa ممکن است برای بررسی یک محدوده فشار کافی باشد.

۲- شروع زمان انتقال مصادف است با اولین SGS قابل اندازه گیری

۳- بر اساس آزمایش های انجام گرفته، شروع زمان انتقال زمانی است که ۱۰ دقیقه سیمان در جای خود ساکن شود.

۴- با سیمان‌های آزمایش شده پایان زمان انتقال وقتی است که SGS دوغاب سیمان متجاوز از ۲۵۰ Pa شود.

۵- رشد کافی SGS برای جلوگیری از نفوذ گاز به طور مستقیم وابسته به زمان بندش نمی‌باشد. پایان زمان انتقال، ۲/۵ تا ۴ ساعت بعد از عملیات سیمانکاری اتفاق می‌افتد.

کل زمان انتقال برای دوغابهای آزمایش شده در محدوده یک تا ۴ ساعت می‌باشد.

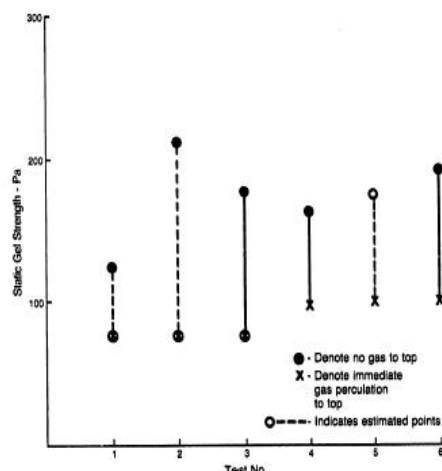
روش منطقی و دقیق تعیین شروع و پایان زمان انتقال دوغاب را می‌توان با استفاده از دستگاه مقاومت ژله‌ای به دست آورد. صرف نظر از نوع دوغاب آزمایش شده این وسیله نتایج واقعی را به ما می‌دهد.

واژگان انگلیسی

API: American petroleum
PSI: pound per square inch
Cp: centipoises
SGS: static gel strength
Mpa: mega Pascal

ارزیابی اطلاعات اندازه‌گیری پایان زمان انتقال

پایان زمان انتقال یک دوغاب سیمان، زمانی است که استحکام ژله‌ای سیمان آنقدر رشد کرده باشد که از نفوذ گاز میان ستون سیمان جلوگیری کند. تعریف شرایط دقیق دوغاب سیمان که در پایان زمان انتقال است، بدون انجام تعداد زیادی آزمایش بسیار مشکل است. گرچه آزمایش هایی که در این قسمت از مقاله توصیف شده‌اند عموماً ارتباط بین استحکام ژله‌ای سیمان و پایان زمان انتقال را نشان می‌دهند. نتایج آزمایش های نفوذ در شرایط جوی در نمودار ۲ نشان داده شده‌اند. این آزمایش ها با شش ترکیب سیمان و با استفاده از وسیله نشان داده شده در تصویر ۲ انجام شده‌اند.



نمودار ۲- نتایج تست نفوذ گاز در شرایط اتمسفریک

L:	طول ستون سیمان		علائم اختصاری
d:	قطر فضای آنالوس	P_h :	فشار چاه
dh:	قطر چاه	P_L :	فشار ستون سیمان
dp:	قطر لوله		

منابع

- [1] Sabins;F.L;Tinsley;J.M.and Sutton;D.L, Transition 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 Expanding Cement 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.S ;and Ansari;A.A ,Gas Migration After Cementing Greatly Reduced. Paper SPE;(2003).