

بررسی بصری تزریق فوم در یک محیط متخلخل شکاف دار شفاف

محمد رضا دودمان کوشکی^{۱*}، ابوالقاسم امامزاده^۲

۱- ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی نفت و گاز، کارشناس ارشد مهندسی نفت، کد پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵.

۲- ایران، تهران، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی نفت و گاز.

نویسنده مسئول ایمیل: mr.doudmankushki@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۹

چکیده

مخازن شکاف دار طبیعی ۲۰ درصد از کل ذخایر نفت جهان را تشکیل می دهند. فرایند هدایت در این مخازن عمدتاً در شبکه شکاف صورت می گیرد، در حالی که بخش عمده نفت در ماتریس است و پس از بازیابی اولیه نفت عمدتاً در مخزن باقی می ماند. روش های ثانویه یا ثالث از جمله تزریق آب یا گاز در مخازن شکاف دار چندان کارآمد نیستند. یکی از روش های اصلاح برای کنترل و بهبود کارایی روش حجمی، تزریق فوم است. فوم در محیط متخلخل، یک فاز گازی پراکنده در خلال یک فاز مایع است که عمدتاً از لایه های نازکی به نام لاملا ساخته شده است. لاملا به واسطه جذب سطحی در واسط گاز/مایع پایدار می شود. در این مقاله، آزمایش هایی جهت بررسی مکانیزم جابه جایی نفت در حین تزریق گاز و فوم در یک محیط متخلخل شکاف دار انجام شده است. از مواد شفاف مانند شیشه برای ساختن مدل های کوچک و بررسی جوانب مختلف جابه جایی مایعات در مقیاس حفره استفاده شده است. جابه جایی مایعات با استفاده از این مدل های کوچک مشاهده شده است و با توجه به خصوصیات هندسی و فیزیکی مایعات، گازها و جامدات ارائه شده بررسی می شوند. دسته بندی فوم ها بر اساس اندازه حباب و کسر گاز صورت می گیرد. استحکام فوم بر اساس میزان افت فشار در محیط شکاف اندازه گیری می شود. برای پایین آوردن فشار به یک فوم بسیار قوی و در نتیجه حباب های بسیار کوچک نیاز خواهیم داشت. بهره وری پایین تزریق گاز در مخزن شکاف دار ما را مجبور به استفاده از فوم به جای گاز می کند تا مقاومت کانال شکاف در برابر مایع تزریق شده افزایش یافته و تحرک گاز تحت کنترل درآید.

کلمات کلیدی: مخزن شکاف دار طبیعی، تزریق گاز، فوم، مدل های کوچک، جابه جایی نفت.

۱- مقدمه

وارد یک فاز نامتناوب شده و تحرک آن به شدت کاهش می یابد [۱]. کسر گاز بالا منجر به تولید حباب های چندضلعی شده و فوم حاصل از آن Polyederschaum نامیده می شود؛ کسر گاز اندک به تولید حباب های کروی درشت می انجامد که به واسطه یک غشای ضخیم از هم جدا می شوند. فوم حاصل از این حباب ها Kugelschaum نامیده می شود. فوم دارای حباب های گازی جدا شده با لاملا و غشای روکش دار جامد (Polyederschaum) نسبت به فوم دارای عدسی های مایع ضخیم که به وسیله حباب های فوم دار و غشای ضخیم

بخش عمده فرایند هدایت در مخازن شکاف دار در یک شبکه شکاف صورت می پذیرد، در حالی که نفت عمدتاً در ماتریس است. کنتراست نفوذپذیری بالا بین شکاف و ماتریس، عملکرد و کارایی تزریق گاز و آب را محدود می کند؛ چون مایع ترجیح می دهد به جای ماتریس در شکاف جریان یابد. به همین ترتیب، از فوم برای کنترل تحرک گاز در مخزن شکاف دار استفاده می شود. فوم از ترکیب گاز و یک محلول سورفکتانت به وسیله تشکیل حباب های جدا شده از یک غشای مایع (به عنوان مثال، لاملا) تشکیل می شود. در ادامه، گاز



نفوذپذیری بالای شکاف باعث تحرک گاز شده و کانال‌ها ایجاد می‌شوند (نک: شکل ۴). از این رو، مایع تزریق شده نمی‌تواند وارد بلوک ماتریس شود و بخش عمده نفت در ماتریس باقی می‌ماند.

پوشش‌دهنده سطح شکاف (Kugelschaum) از هم جدا شده‌اند، مقاومت بیشتری در برابر جریان سیال از خود نشان می‌دهد. شکل و بافت حباب‌های فوم‌دار، رئولوژی (علم جریان و تغییر شکل ماده) فوم را کنترل می‌کند [۲ و ۳].

۲- آزمایش‌ها

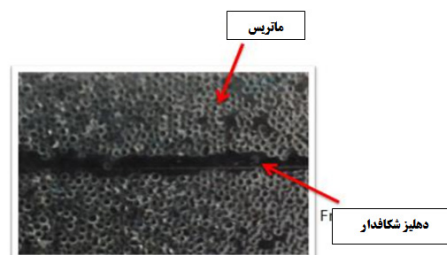
مدل شکاف مورد استفاده در این مطالعه در (شکل ۱) نشان داده شده است. این مدل از دانه‌های شیشه‌ای بین دو صفحه شفاف موازی تشکیل شده است.

نمودار اجمالی تجهیزات به کاررفته در آزمایش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. از پمپ تزریق سرنگی برای تزریق محلول سورفکتانت و گاز و از مبدل فشار برای اندازه‌گیری فشار استفاده شده است.

محلول سورفکتانت مورد استفاده در آزمایش‌ها، آلفا الفین سولفونات $\text{RCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{nSO}_3\text{Na}$ و آب مقطر بود. فاز گازی هوا بود. از یک همزن مکانیکی برای تولید فوم استفاده شده و فوم پیش تولید شده به مدل تزریق شده است.

جدول ۱- داده‌های آزمایشی برای نرخ تزریق گاز 5cc/hr

Volume injection(cc)	DP(Psi)	Q/DP(cc/hr/psi)
0.125	2.06600	2.42
0.250	2.07030	2.42
0.375	2.14170	2.33
0.500	2.18210	2.29
0.625	2.17350	2.30
0.750	2.15500	2.32
0.875	2.13240	2.34
1.000	2.15080	2.32
1.125	2.10130	2.38
1.250	2.07100	2.41
1.375	2.06840	2.42
1.500	2.00980	2.49
1.625	2.00500	2.49
1.750	2.00090	2.50
1.875	2.00090	2.50
2.000	2.00090	2.50
2.125	2.00090	2.50
2.250	2.00090	2.50

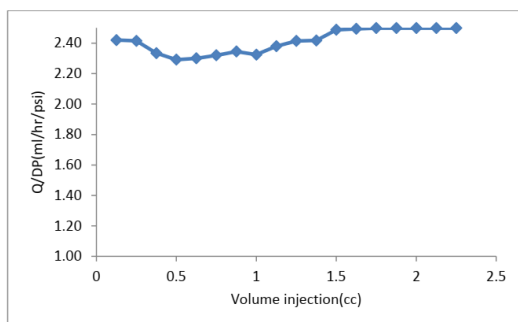


شکل ۱- زاویه بسته از شکستگی و ماتریس

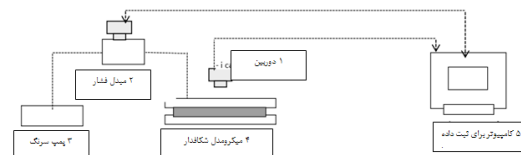
داده‌های مربوط به تزریق فوم در (جدول ۲) نشان داده شده است.

همان طور که در (شکل ۵) می‌بینید، هدایت فوم کمتر از هدایت گاز است؛ در آزمایش دوم، مشاهده شد که مقاومت فوم در برابر جریان سیال در سطح شکاف به واسطه انحراف جریان افزایش می‌یابد. بیشترین مقاومت در برابر جریان در حدفاصل تزریق ۰/۴ تا ۱/۴ سی سی مشاهده شد. در این فاصله شاهد انتقال از kugelschaum به polyederschaum بودیم (نک: شکل ۶).

پس از تزریق هر ۰/۱۲۵ سی سی از فوم تولیدی، فشار اندازه‌گیری و سطح هدایت در هر مرحله محاسبه شده است. داده‌های مربوط به تزریق گاز در (جدول ۱) و داده‌های مربوط به تزریق فوم در (جدول ۲) ارائه شده‌اند.



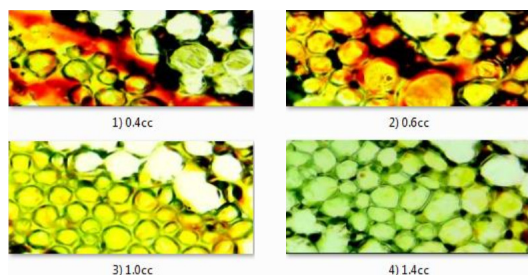
شکل ۳- رسانندگی گاز در مقابل حجم تزریق شده در طول تزریق گاز با نرخ 5cc/hr



شکل ۲- نمودار راه‌اندازی آزمایش کنترل جابه‌جایی در میکرومدل شکاف‌دار

همان طور که در (شکل ۳) می‌بینید، فشار مورد نیاز برای ورود گاز به مدل و رویش نفت بسیار بالاست، اما پس از ورود،



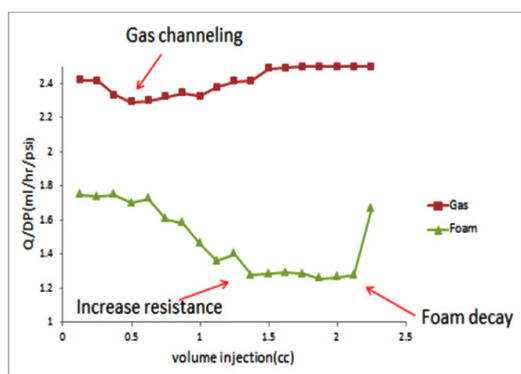


شکل ۶- بافت فوم؛ ۱- جریان پایین شکاف گاز (حباب کروی از لاملای کلفت جدا شده است)؛
۲- افزایش جریان شکاف گاز و کیفیت فوم؛
۳- شکل انتقال حباب از کروی به چندضلعی؛

۴- فوم Polyederschaum

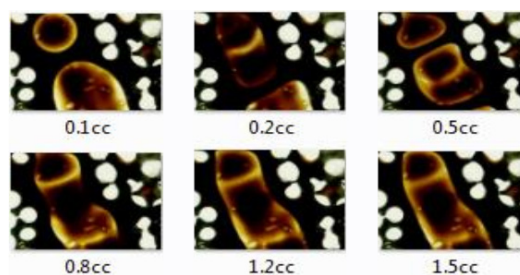
۳- بحث

خلاصه هر دو آزمایش در (شکل ۷) آمده است. تغییر شکل حباب فوم از حالت کروی به چندضلعی در کیفیت پیش‌بینی شده برای فوم که ۰/۹۱ است رخ می‌دهد که نتایج آزمایش‌ها ما را تأیید می‌کند. فوم با انسداد کانال شکاف باعث کاهش تحرک گاز شده و جریان سیال را در بلوک ماتریس منحرف می‌کند و در نتیجه نفت در ماتریس جابه‌جا می‌شود، به طوری که رسوبات نفت به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد.



شکل ۷- مقایسه هدایت گاز و تزریق فوم در محیط شکاف دار

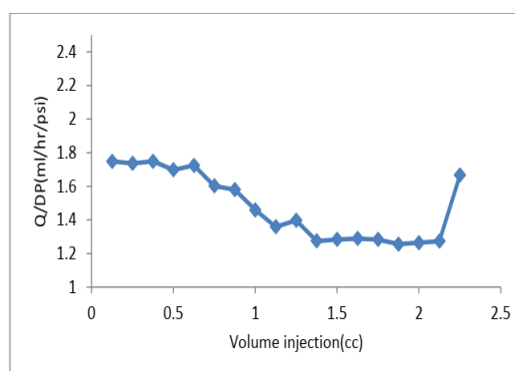
برای داشتن فوم با کیفیت‌تر و به تعویق انداختن زمان انتقال می‌بایست پایداری فوم را با کاهش شکاف غشا و احتمال درهم‌آمیختن حباب‌ها افزایش دهیم. این امر با کنترل غلظت یون‌های نمکی در لاملا و نوع سورفکتانت مورد استفاده در آزمایش‌ها محقق خواهد شد.



شکل ۴- جابه‌جایی بالای گاز و نفوذپذیری بالای شکستگی منجر به کانال‌زنی گاز می‌شود

جدول ۲- داده‌های آزمایشی برای نرخ تزریق فوم 5cc/hr

Volume injection(cc)	DP(Psi)	Q/DP(cc/hr/psi)
0.125	2.86000	1.7482517483
0.250	2.87950	1.7364125716
0.375	2.85980	1.7483740122
0.500	2.94500	1.6977928693
0.625	2.90000	1.7241379310
0.750	3.12000	1.6025641026
0.875	3.16500	1.5797788310
1.000	3.42600	1.4594279043
1.125	3.68000	1.3586956522
1.250	3.57800	1.3974287311
1.375	3.92150	1.2750223129
1.500	3.89570	1.2834663860
1.625	3.87980	1.2887262230
1.750	3.89565	1.2834828591
1.875	3.98165	1.2557608027
2.000	3.95640	1.2637751491
2.125	3.92670	1.2733338427
2.250	3.00000	1.6666666667



شکل ۵- هدایت فوم

همچنین مشاهده کردیم که فوم پس از تزریق ۲/۱۲ سی‌سی به دلیل از هم‌گسیختگی غشا و درهم‌آمیختن حباب‌ها شروع به فروپاشی می‌کند. در این مرحله، مقاومت در برابر جریان سیال کاهش یافته و فرایند انتقال انجام می‌گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

در شرایط آزمایشی فوق، با تزریق گاز و فوم از طریق یک مدل کوچک شکاف دوبعدی به نتایج زیر در خصوص فوم و جریان گاز دست یافتیم:

۱. تحرک اندک گاز موجب عبور آن از طریق شکاف و انتقال زود هنگام می‌شود. از این رو، بخش عمده نفت در ماتریس مانده و ضریب بازیابی در مخازن شکاف‌دار در صورت انتشار گاز بسیار پایین خواهد بود.
۲. فوم می‌تواند کارایی روبش را در یک سیستم شکست تا حد زیادی بهبود بخشد. در ابتدا، فوم از طریق شکاف عبور می‌کند، اما مقاومت در برابر این جریان پس از مدتی افزایش می‌یابد و در نتیجه فرایند تزریق به سمت ماتریس هدایت می‌شود.
۳. همان طور که در شکل ۶ می‌بینید، بافت فوم (اندازه حجم حباب) یک پارامتر کلیدی در کنترل تحرک است. فوم polyederschaum مقاومت بالاتری دارد و شرایط بهتری را برای هدایت جریان در ماتریس فراهم می‌کند.
۴. به دلیل توانایی فوم در هدایت جریان به سمت ماتریس و نیاز به مایع کمتر برای پرکردن حجم شکاف، مقدار محلول سورفکتانت و گاز مورد نیاز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

۵- مراجع

1. Farajzadeh, R., B.M. Wassing, P.M. Boerrigter, "Foam assisted gas-oil gravity drainage in naturally-fractured reservoirs", Journal of Petroleum Science and Engineering, 2012.
2. Kovscek, A.R, D.C. Tretheway, P. Persoff, C.J. Radke, "Foam flow through a transparent rough-walled rock fracture", Journal of Petroleum Science and Engineering, 13 (1995).
3. H.M. Princen, "Rheology of foams and highly concentrated emulsions", J. Colloid Interface Sci, 1983.



Visual Investigation of Foam Injection in a Transparent Fractured Porous Medium

Mohammad Reza Doudman Kushki^{1*}, Abolghasem Emamzadeh²

1- Department of Petroleum and Gas Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, P.O.

Box 14515775, Tehran, Iran.

2- Department of Petroleum and Gas Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch,

Tehran, Iran.

Corresponding Author, Email: mr.doudmankushki@gmail.com

Abstract

Naturally fractured reservoirs account for 20% of world's oil reserves. Conductivity in these reservoirs is mostly in the fracture network, while the oil is mostly in the matrix and after primary recovery, most of the oil remains in the reservoir. Most of the secondary or tertiary recovery methods such as water injection or gas injection are not efficient in fractured reservoirs. A corrective method to control and improve volumetric sweep efficiency is foam injection. Foam in porous media is a dispersed gaseous phase within a continuous aqueous phase, comprised mainly of thin films known as lamellae. The lamellae are stabilized by adsorption of surfactant at the gas/liquid interfaces. In this paper, experiments were performed to study the pertinent oil displacement mechanisms during gas and foam injection in a transparent fractured porous medium. Transparent material such as glass were used to construct micro models and to study various aspects of fluid displacement at pore scale. Using micro models, the displacement of the fluids can be observed and investigated in terms of micro-geometry and physical characteristics of the presented liquids, gases and solids. The classification of foams is based on their bubble size and gas fraction. The strength of foam is measured by the magnitude of the pressure drop that is generated along the medium. To decrease the pressure very strong foams and therefore small bubbles are required. Low productivity of gas injection in fractured reservoir makes us to use foam instead of gas in order to increase resistance of fracture corridor against the injected fluid and to better control the mobility of gas.

Keywords: *Naturally fractured reservoir, Gas injection, Foam, Micro model, Oil displacement.*

