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 اثر ریزش فیلم مایع، انتشار گاز و غلظت ماده فعال سطحی بر پایداری جریان فوم در محیط متخلخل

حامد نجاتیان دارایی[1*]، مرتضی انصاری[2]، علی رنجکش[3]

[1] دانشگاه صنعتی سهند تبریز

[2,3] شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران

چکیده

پایداری فوم به ساختار و پایداری فیلم‌های مایع وابسته است. هرچه فیلم‌های مایع پایدارتر باشند، فوم پایدارتر است. ناپایداری فیلم‌های مایع باعث انعقاد و ناپایداری فوم می‌گردد. ریزش فیلم مایع، انتشار گاز و غلظت ماده فعال سطحی از مهمترین عوامل ناپایداری فوم در محیط متخلخل هستند. نتایج نشان می‌دهد که ریزش فیلم مایع به تضعیف و ناپایداری فوم منجر می‌شود. در مورد فوم تشکیل شده در محیط متخلخل، انتشار گاز پیچیده بوده و در دبی‌های بالای جریان فوم قابل صرف نظر است و ماده فعال کننده سطحی با پایدار کردن فیلم‌های مایع، باعث افزایش پایداری فوم می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

جریان فوم در محیط متخلخل، ماده فعال سطحی، انتشار گاز

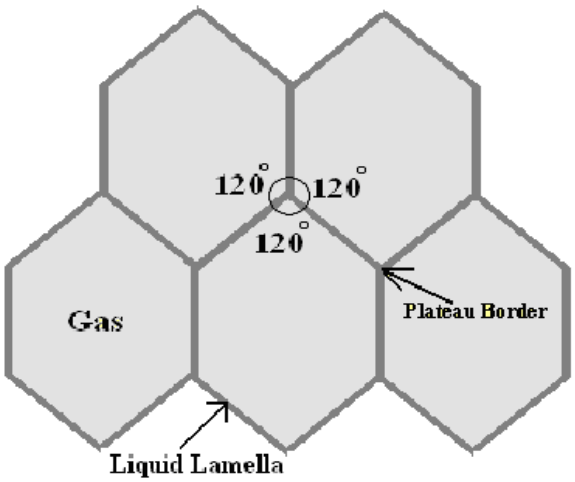
*Hamed.Nejatiyan@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

فوم ترکیبی از گاز، آب و ماده‌ی فعال کننده‌ی سطحی است. ماده‌ی فعال کننده‌ی سطحی به عنوان کف کننده[۱] عمل می‌کند. فوم به صورت مجموعه‌ای از لایه‌های مایع و مرزهای مشخص است. این لایه‌ها به گونه‌ای قرار می‌گیرند که کمترین تنش بر آنها وارد شود. هر سه لایه مجاور، در محل تلاقی تحت زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به هم قرار می‌گیرند (شکل ۱). فوم نمونه خاصی از جریان دو فازی گاز- مایع است. با تزریق گاز و محلول فعال کننده سطحی در محیط متخلخل فوم تشکیل شده و فاز گاز در فوم توسط لایه‌های مایع به دام می‌افتد و اگر فوم پایداری به‌دست آید، فازهای گاز و مایع با هم با سرعت یکسانی حرکت خواهند کرد [۲،۱].



شکل ۱: طرحی از یک سیستم فوم

۲- ریزش فیلم مایع

این مکانیسم، غالب‌ترین مکانیسم در ناپایداری فیلم‌های مایع می‌باشد. در فوم، حباب‌های گاز توسط فیلم‌های مایع جدا شده‌اند. این فیلم‌ها تحت تأثیر فرآیند ریزش گسیخته و ناپایدار می‌گردند.

دو شاخص فرآیند ریزش فیلم، ضخامت بحرانی و زمان ریزش فیلم مایع می‌باشند. شاخص اول به معنی ضخامتی است، که در پایین‌تر از آن ضخامت فیلم مایع شروع به گسیختگی می‌کند. شاخص دوم به معنی زمانی می‌باشد که در آن زمان، ضخامت فیلم مایع به ضخامت بحرانی می‌رسد. این شاخص‌ها به پارامترهای زیادی از جمله ویسکوزیته، انعطاف پذیری سطح، نسبت ویسکوزیته‌های گاز به مایع، جذب سطحی و انحلال پذیری ماده‌ی فعال کننده سطحی، وابسته هستند [۳، ۴]. رابطه بین ضخامت بحرانی و غلظت ماده فعال کننده سطحی به خوبی شناخته شده می‌باشد، به طوری که افزایش غلظت ماده فعال کننده سطحی باعث کاهش ضخامت بحرانی می‌گردد. با این حال، عکس این رابطه واضح و روشن نیست [۴].

[۱] Foamer

www.SID.ir

Archive of SID

دو مکانیسم عمده حاکم بر ریزش فیلم عبارتند از: ریزش ثقلی[۲] و ریزش موئینه[۳]. ریزش ثقلی معمولاً در فیلم‌های مایع ضخیم مشاهده شده است. در این حالت مایع توسط نیروهای ثقلی از طریق فیلم‌های مایع به هم پیوسته به پایین رانده می‌شود. این مکانیسم با افزایش ویسکوزیته‌ی محلول فعال کننده‌ی سطحی، کاهش می‌یابد [۵].

ریزش موئینه که علت آن فشار موئینه است، مکانیسم ریزش فیلم در فیلم‌های مایع نازک می‌باشد. شکل (۲) اختلاف فشار در طی سطوح خمیده در فیلم‌های مایع فوم را نشان می‌دهد [۱]. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، شعاع انحنا در مرکز لاملا R_{IA} بزرگ‌تر از شعاع انحنا در نواحی مرزی R_{IB} است. در فوم فشار موئینه به صورت اختلاف فشار بین فازهای گاز و مایع به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$P_{CA} = P_G - P_A \qquad (۱)$$

$$P_{CB} = P_G - P_B \qquad (۲)$$

که P_{CA}: فشار موئینه در مرکز فیلم مایع

P_{CB}: فشار موئینه در نواحی مرزی

P_A: فشار مایع در مرکز فیلم مایع

P_B: فشار مایع در نواحی مرزی

P_G: فشار در فاز گاز

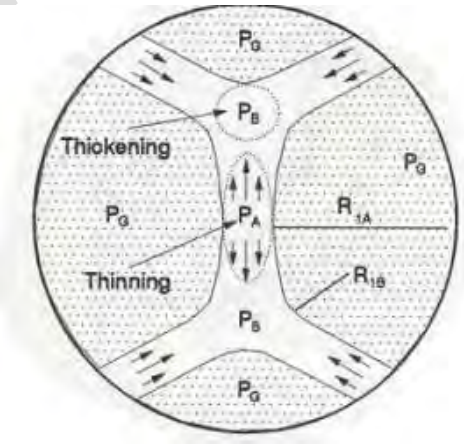
همان‌طور که در بالا توضیح داده شد از آنجایی که $R_{IA} > R_{IB}$ ، طبق معادله یانگ – لاپلاس:

$$P_{CA} > P_{CB}$$

از معادله (۱) و (۲) و با فرض اینکه فشار گاز درون حباب یکسان است، داریم:

$$P_A > P_B \qquad (۳)$$

بر طبق معادله‌ی (۳) فشار مایع در مرکز فیلم مایع بزرگ‌تر از مقدار آن در نواحی مرزی است. این اختلاف فشار با راندن مایع به بیرون از فیلم مایع باعث نازک شدگی فیلم می‌شود، که در نهایت به تضعیف و ناپایداری فوم منجر می‌گردد.



شکل ۲: اختلاف فشار در طی سطوح منحنی در فیلم مایع فوم [۶]

[۲] Gravity drainage
[۳] Capillary drainage

www.Reservoir.ir

www.SID.ir

Archive of SID

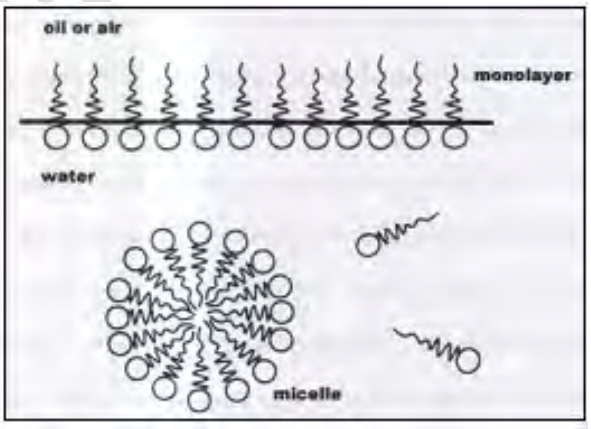
۳- انتشار گاز[۴]

به دام افتادن حباب‌ها در محیط متخلخل معمولاً در نتیجه مکانیسم انتشار گاز است. بر طبق معادله یانگ- لاپلاس، فشار گاز در گوشه‌های مقعر فیلم مایع نسبت به گوشه‌های محدب بیشتر است. بنابراین، پتانسیل شیمیایی بالایی برای حل شدن گاز در فیلم مایع و خروج آن تحت مکانیسم انتشار از قسمت مقعر به قسمت محدب فیلم مایع وجود دارد. شدت مکانیسم انتشار با مربع شعاع انحنا فیلم متناسب است و برای حباب‌های کوچک‌تر انتشار گاز شدیدتر است [۷، ۸]. در مورد فوم تشکیل شده در محیط متخلخل، انتشار گاز پیچیده‌تر است. علت این است که فیلم‌های مایع متحرک به طور پیوسته با شبکه خلل و فرج تغییر شکل می‌دهند [۹]. با این حال، انتشار گاز در دبی‌های بالای جریان فوم که جابجایی[۵] رژیم غالب جریان است، قابل صرف نظر است.

۴- غلظت ماده فعال سطحی

ماده فعال سطحی با پایدار کردن فیلم‌های مایع، باعث افزایش پایداری فوم می‌گردد. این توانایی ماده فعال سطحی، با مرور بر رفتار آن، قابل توضیح است. وقتی که ماده فعال سطحی به یک سیستم دو فازی مانند هوا/آب یا نفت/آب، اضافه می‌گردد، ماده فعال سطحی تمایل به جذب در فصل مشترک دو فاز دارد، این امر باعث کاهش کشش بین سطحی (IFT) بین دو فاز می‌گردد. با این حال در زیر غلظت مایسل بحرانی (CMC) ملکول‌های ماده فعال سطحی حل شده به صورت مونومر[۶] در فصل مشترک پخش می‌گردند، و IFT به شدت کاهش می‌یابد. بالای CMC ملکول‌های ماده فعال سطحی باعث شکل گیری مایسل می‌گردند و اثر اندکی بر تغییر IFT دارند (شکل۳ الف و ۳ ب) [۱۰].

اگر ماده فعال سطحی مورد استفاده یونی باشد، ماده فعال سطحی باعث ایجاد نیروی دافعه الکترواستاتیکی بین لایه‌های مایع می‌گردد (شکل ۴). این نیرو عامل پایداری فیلم مایع در حضور ماده فعال سطحی است. برآیند نیروهای دافعه و جاذبه درون لایه مایع ، فشار گسست[۷]، $\pi(h)$ نامیده می‌شود. این فشار تابع ضخامت فیلم مایع است. با افزایش فشار موئینه ضخامت فیلم کاهش می‌یابد. وقتی که فشار موئینه با حداکثر فشار گسست، π_{max} برابر گردد، ضخامت فیلم به ضخامت بحرانی می‌رسد. اگر فشار موئینه از π_{max} بیشتر گردد، فیلم گسیخته می‌گردد .

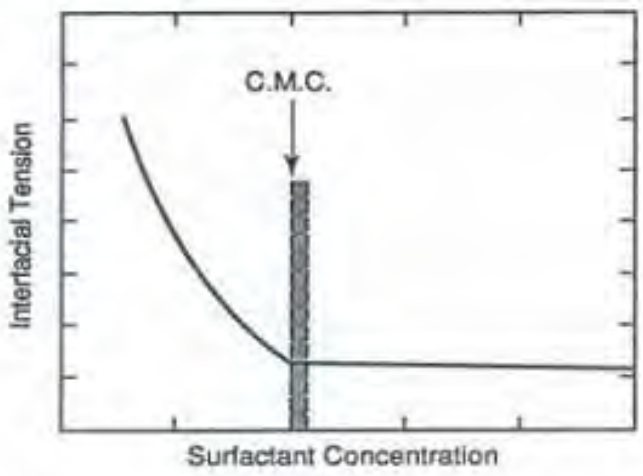


الف)

[۴] Gas diffusion
[۵] Convection
[۶] Monomer
[۷] Disjoining pressure

www.SID.ir

Archive of SID

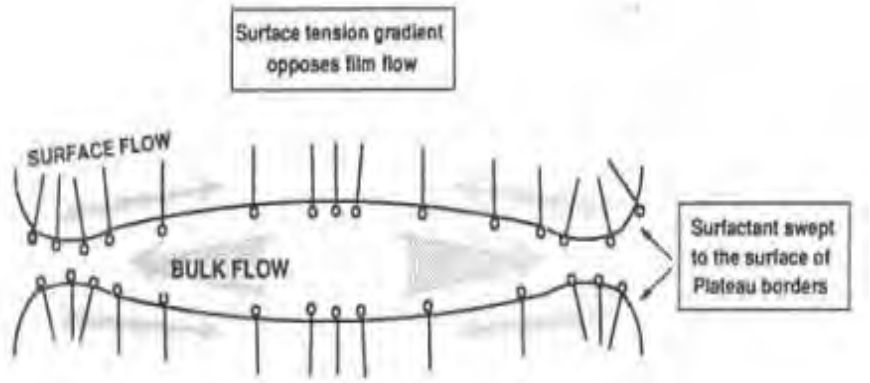


ب)

شکل ۳: الف) رفتار ماده فعال سطحی بالای CMC،

ب) IFT به عنوان تابعی از غلظت ماده فعال سطحی [۹]

هنگامی که غلظت ماده‌ی فعال سطحی زیر غلظت CMC است، خصوصیات رئولوژیکی[۸] در فصل مشترک گاز- مایع نقش مهمی در پایداری فوم دارد. در این حالت فرآیند نازک شدن لایه مایع با بیرون رانده شدن مایع از لایه توسط فشار موئینه عمود بر سطوح لایه، شروع می‌شود. در نتیجه، غلظت ماده فعال سطحی در جهت جریان افزایش می‌یابد، و بنابراین کشش سطحی کاهش می‌یابد و لایه مایع پایدار می‌گردد. این رابطه به عنوان اثر گیبس- مارانگونی[۹] شناخته می‌شود [۱].



شکل ۴: نمایی از اثر گیبس- مارانگونی بر فرآیند ریزش فیلم

برعکس، در غلظت‌های بالاتر از CMC، نقش خصوصیات رئولوژیکی سطح کم اهمیت می‌گردد. با این حال، مطالعات بایکرمن[۱۰] و همکارانش (۱۹۷۳)، نشان داده‌اند که پایداری فوم با افزایش غلظت ماده فعال سطحی (حتی بالاتر از CMC)، افزایش می‌یابد [۷].

[۸] Rheological Properties
[۹] Gibbs-Marangoni
[۱۰] Bikerman

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله پایداری فوم در محیط متخلخل، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده توسط دیگر محققان ذکر شد. مهمترین نتایج به‌دست آمده از این مطالعه به شرح زیر است:

۱. ریزش فیلم مایع، غالب‌ترین مکانیسم در ناپایداری فیلم‌های مایع می‌باشد.

۲. ریزش ثقلی و ریزش موئینه دو مکانیسم عمده حاکم بر ریزش فیلم مایع هستند. ریزش ثقلی معمولاً در فیلم‌های مایع ضخیم مشاهده می‌شود و ریزش موئینه که علت آن فشار موئینه است، مکانیسم ریزش فیلم در فیلم‌های مایع نازک می‌باشد.

۳. اثر انتشار گاز بر پایداری فوم در دبی‌های بالای جریان فوم که جابجایی رژیم غالب جریان است، قابل صرف نظر است.

۴. هنگامی که غلظت ماده‌ی فعال سطحی زیر غلظت CMC است، کشش سطحی کاهش یافته و لایه مایع پایدار می‌گردد. بالای CMC ملکول‌های ماده فعال سطحی باعث شکل گیری مایسل می‌گردند و اثر اندکی بر تغییر IFT دارند.

تشکر و قدردانی

از دکتر اقبال صحرایی و دکتر الناز خداپناه به خاطر راهنمایی ایشان کمال تشکر را داریم.

منابع

1. Schramm, L. L. and Wassmuth F., "Foam: Basic Principles , In: Schramm, L. L. (ed), Foams: Fundamentals and Application in the Petroleum Industry," Washington, DC, USA: American Chemical Society, 1994.
2. Vikingstad A., K., and Aarra M. G., "Comparing the Static and Dynamic Foam Properties of a Fluorinated and an Alpha Olefin Sulfonate Surfactant," Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009. Vol. 65, Issues(1-2): p. 105-111.
3. Q. P. Nguyen, A. V. Alexandrov, P. L. Zitha and P. K. Currie, Experimental and Modeling Studies on Foam in Porous Media: A Review. SPE paper 58799, SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, 23-24 February 2000.
4. A. D. Nikolov, D. T. Wasan, D. W. Huang and Edwards, D.A., The Effect of Oil on Foam Stability: Mechanisms and Implications for Oil Displacement by Foam in Porous Media. SPE Paper SPE 15443, Paper Presented at of the 61st Annual Technical Conference and Exhibition of Society of Petroleum EngineersNew Orleans, LA, USA, October 5-8, 1986.
5. W.R. Rossen, J.Bruining, Foam Displacements With Multiple Steady States. SPE Paper 89397, SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, 17-21 April 2004.
6. S. Tian and S. He, Investigating the Effect of Steam, CO_2, and Surfactant on the Recovery of Heavy Oil Reservoirs. SPE Paper 117394, International Thermal Operations and Heavy Oil Symposium, Calgary, Alberta, 20-23 October 2008.
7. J. J. Bikerman, Foams. New York: Springer, 1973.
8. P. Persoff, C. J. Radke, K. Pruess, S. M. Benson and P. A. Witherspoon, A Laboratory Investigation of Foam Flow in Sandstone at Elevated Pressure. Journal of Reservoir Engineering of Society of Petroleum Engineers, 199 . Vol. 6, No. 3: p. 365-371.
9. Q. P. Nguyen, Dynamics of Foam in Porous Media. PhD Dissertation, Delft University of Technology,Netherlands, 2004.
10. D. Tanzil, Foam Generation and Propagation in Heterogeneous Porous Media. PhD Dissertation, Rice University, Houston, Texas, USA, 2001.

www.Reservoir.ir

www.SID.ir