

KHẢO SÁT CƠ CHẾ ĐẨY DẦU KHI BƠM ÉP POLYMER QUA MẪU LỖI ĐỐI TƯỢNG MIOCEN HẠ MỎ BẠCH HỔ

TS. Nguyễn Hải An

Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí

ThS. Nguyễn Hoàng Đức, ThS. Nguyễn Bảo Trung

Viện Dầu khí Việt Nam

Tóm tắt

Vỉa chứa dầu Miocen hạ mỏ Bạch Hổ đang là đối tượng nghiên cứu chính cho các phương pháp nâng cao hệ số thu hồi dầu bằng bơm ép hóa chất như polymer hay chất hoạt tính bề mặt. Những nghiên cứu gần đây đề cập đến khả năng tăng cường hệ số đẩy dầu bằng dung dịch polymer. Kết quả thí nghiệm bơm ép dung dịch co-polymer chịu nhiệt với nồng độ cao qua mẫu lõi Miocen hạ mỏ Bạch Hổ cho thấy tổng lượng dầu gia tăng thêm đạt trung bình 12,1% so với sử dụng phương pháp bơm ép nước [1]. Hiểu rõ các cơ chế đẩy - quét sẽ tạo điều kiện thuận lợi khi thiết kế các sơ đồ bơm ép thực tế cho đối tượng nghiên cứu, bài báo giới thiệu các kết quả thí nghiệm nhằm khảo sát chi tiết các cơ chế đẩy dầu và cải thiện hệ số quét của dung dịch polymer qua mẫu lõi.

1. Giới thiệu

Công tác nghiên cứu đánh giá khả năng áp dụng các biện pháp nâng cao hệ số thu hồi dầu được tiến hành từ đầu năm 2000 cho các đối tượng đang khai thác tại mỏ Bạch Hổ. Trong đó, đối tượng cát kết Miocen hạ được quan tâm nhiều nhất do là đối tượng khai thác truyền thống, có thể ứng dụng ngay kết quả nghiên cứu để nâng cao hệ số thu hồi dầu. Một số phương pháp hóa học (hoạt tính bề mặt, dung môi...) được bơm ép thử nghiệm đã đem lại những kết quả ban đầu, song cũng cho thấy khó khăn và thách thức khi áp dụng các phương pháp nâng cao hệ số thu hồi dầu cho các đối tượng khai thác tại mỏ Bạch Hổ cũng như toàn bể trầm tích Cửu Long.

Sau thời gian dài áp dụng phương pháp bơm ép polymer (từ những năm 70 của thế kỷ XX), các nghiên cứu cho thấy dung dịch polymer được bơm vào vỉa giúp cải thiện tỷ số độ linh động và nâng cao hệ số quét. Tuy nhiên, theo kết quả áp dụng thực tế tại một số mỏ thì dung dịch polymer chỉ làm tăng nhẹ lực đẩy mao dẫn, do lượng dầu khai thác thêm có cơ chế mao dẫn rất nhỏ so với dầu được polymer quét mở rộng diện tích theo cả diện và mặt cắt [3].

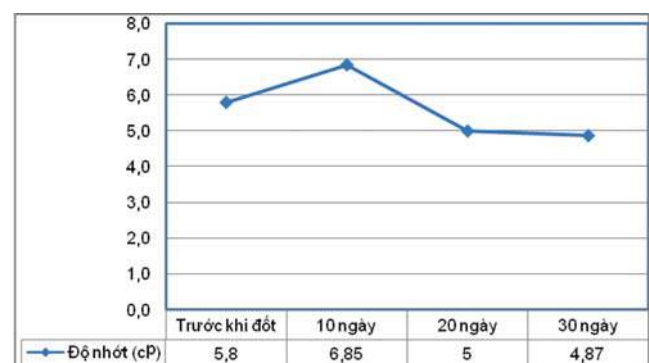
Trong những nghiên cứu gần đây, nhiều nhà khoa học đã đề cập đến khả năng tăng cường hệ số đẩy dầu của dung dịch polymer có độ nhớt cao [3], [4] (điều chỉnh giảm mạnh hệ số độ linh động M). Kết quả thí nghiệm bơm ép dung dịch co-polymer chịu nhiệt với nồng độ

cao qua mẫu lõi Miocen hạ mỏ Bạch Hổ cho thấy tổng lượng dầu gia tăng thêm đạt trung bình 12,1% so với sử dụng phương pháp bơm ép nước [2].

Trên cơ sở kết quả tổng lượng thu hồi dầu qua mô hình vỉa phân lớp [1], một số mô hình sửa đổi đã thực hiện tại Phòng Thí nghiệm Công nghệ mỏ - Viện Dầu khí Việt Nam nhằm chi tiết hóa từng phần dầu thu hồi. Từ kết quả thực nghiệm, các cơ chế đẩy dầu và cải thiện hệ số quét của dung dịch polymer được khảo sát và đánh giá hiệu quả. Hiểu rõ các cơ chế đẩy - quét sẽ tạo điều kiện thuận lợi khi thiết kế các sơ đồ bơm ép thực tế cho đối tượng nghiên cứu.

2. Dung dịch polymer bức xạ

Dung dịch polymer (có số hiệu mẫu A-806 do Viện Nghiên cứu Hạt nhân tổng hợp bằng công nghệ chiếu



Hình 1. Kết quả khảo sát độ bền nhiệt dung dịch polymer bức xạ A-806 [2]

bức xạ) có một số đặc tính vượt trội so với các loại polymer khác bởi khả năng chịu nhiệt độ cao tới 130°C và bền trong môi trường nước có độ khoáng hóa cao tương đương nước biển. Dung dịch polymer A-806 cũng được pha chế từ nước biển với độ muối tương đương 25.000ppm. Kết quả khảo sát độ bền nhiệt thông qua giá trị độ nhớt của dung dịch (Hình 1) cho thấy dung dịch tương đối ổn định theo thời gian với độ nhớt trong khoảng 5cP tại điều kiện vỉa (nhiệt độ 120°C và áp suất 20,4 MPa).

3. Đặc tính tầng chứa Miocen hạ mỏ Bạch Hổ và hiện trạng khai thác

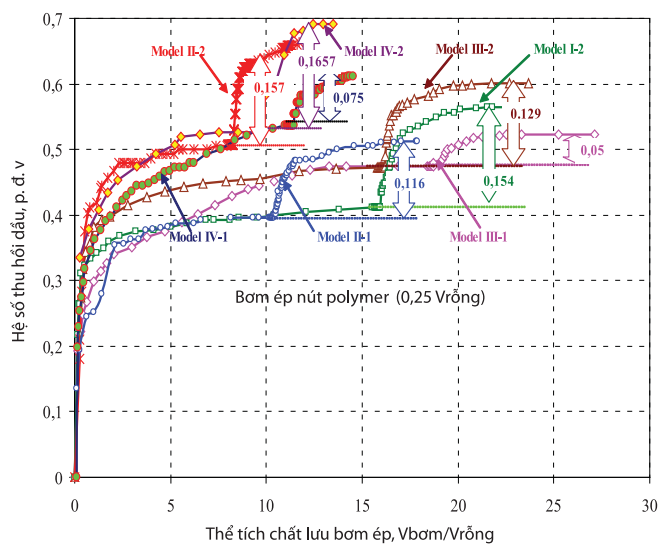
Thân dầu Miocen hạ mỏ Bạch Hổ thuộc dạng cát kết phân lớp mỏng, xen kẽ với các lớp bột kết và sét kết. Trên diện tích mỏ, thân dầu được phân chia thành 2 khối rõ ràng (khối Bắc và khối Trung tâm) theo chế độ thủy động. Lượng dầu tại chỗ của khối Trung tâm là 8 triệu tấn và của khối Bắc là 11 triệu tấn. Theo mặt cắt, thân dầu gồm 5 tầng sản phẩm (từ tầng 23 - 27) trong đó tầng 23 là tầng sản phẩm chính với chiều dày có thể đạt tới 20m trong một số giếng khoan. Độ thấm của các tầng biến thiên trong khoảng rộng, từ vài mD tới hàng nghìn mD (2 - 2.500mD đối với tầng 23) và độ rỗng trung bình đạt 18%. Hệ số phân lớp của các tầng tương đối cao (3,25 đối với tầng 23) [1]. Độ bão hòa dầu ban đầu của vỉa có giá trị trung bình 49% và ranh giới dầu nước toàn đối tượng nằm tại độ sâu 2.971m.

Dầu vỉa thuộc loại có tỷ trọng trung bình với giá trị trọng lượng riêng dầu đã tách khí đạt 865kg/m³, tỷ số khí - dầu từ 100m³/tấn (khối Trung tâm) tới 140m³/tấn (khối Bắc). Nhiệt độ vỉa trung bình từ 90 - 110°C tương ứng với chiều sâu các tầng sản phẩm từ 2.760 - 3.000mTVDSS. Áp suất vỉa ban đầu được lấy với giá trị 28,8MPa.

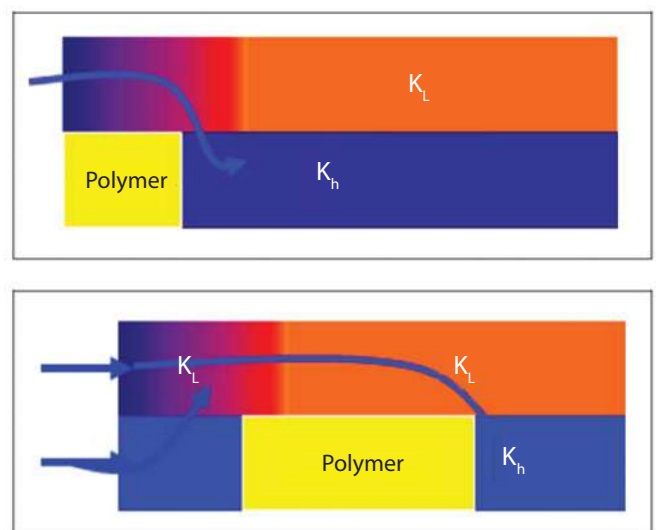
Tính đến đầu năm 2011, đã có trên 60 giếng được khoan vào vỉa mỏ Bạch Hổ. Hiện có 31 giếng khai thác và 7 giếng bơm ép đang hoạt động. Phương pháp gaslift được áp dụng cho hầu hết các giếng khai thác. Tổng lượng dầu đã khai thác được từ thân dầu đạt 5,4 triệu tấn, tương ứng với hệ số thu hồi 28,4%. Riêng khối Bắc khai thác 3,8 triệu tấn, đạt 87% lượng dầu có thể khai thác được. Tuy nhiên, độ ngập nước của các giếng rất cao (trên 72%). Do đó, một lượng lớn dầu (ước tính khoảng trên 9 triệu tấn) còn nằm lại trong vỉa sau quá trình khai thác bằng phương pháp bơm ép nước và là tiềm năng rất lớn cho các phương pháp nâng cao hệ số thu hồi dầu.

4. Thí nghiệm bơm ép polymer cho mô hình vỉa phân lớp

Mô hình vỉa phân lớp được các chuyên gia Vietsovpetro xây dựng từ 4 nửa mẫu lõi tầng chứa Miocen hạ mỏ Bạch Hổ. Các mẫu được lựa chọn để có hai nửa mô hình vỉa có độ thấm khác biệt nhau: từ 50 - 100mD so với 900 hoặc hàng nghìn mD. Mô hình này mô phỏng gần chính xác sự phân lớp bất đồng nhất tự nhiên trong thực tế vỉa chứa, cho phép nghiên cứu xác định hiện tượng dòng chảy chéo xảy ra giữa các lớp trong quá trình bơm ép nước và polymer. Trong thực tế khai thác đối tượng Miocen hạ, hiện tượng vọt nước sớm xảy ra ở các lớp có độ thấm lớn do có sự hỗ trợ năng lượng từ nước biển và nước bơm ép khi áp dụng duy trì áp suất vỉa với tỷ số độ linh động được đánh giá vào khoảng M = 5.



Hình 2. Kết quả thí nghiệm bơm ép polymer [1]



Hình 3. Bơm ép polymer qua mô hình phân lớp

Thí nghiệm bơm ép polymer nâng cao hệ số thu hồi dầu qua mô hình phân lớp tại điều kiện vừa, sử dụng dầu mô phỏng độ nhớt, nước vừa và dung dịch polymer A-806 nồng độ 2.500ppm. Dung dịch polymer được bơm vào thời điểm mô hình vừa đã bị ngập nước hoàn toàn (sau khi kết thúc bơm đẩy dầu bởi nước). Thể tích nút dung dịch polymer bơm ép được lựa chọn bằng 25% thể tích không gian rỗng của mô hình. Sau khi bơm ép hết lượng polymer, nước tiếp tục được bơm vào mô hình nhằm thực hiện quá trình bơm đẩy dầu một cách liên tục.

Có 8 mô hình vừa phân lớp đã được thực hiện, trong đó 7 mô hình thực hiện tại Phòng Thí nghiệm của Vietsovpetro và 1 mô hình thực hiện tại Phòng Thí nghiệm Công nghệ mỏ - Viện Dầu khí Việt Nam. Kết quả cho thấy gia tăng thu hồi dầu thay đổi trong khoảng 4,8 - 16,6%, trung bình đạt 12,1%. Theo báo cáo kết quả nghiên cứu [2] đã khẳng định mức độ cải thiện hệ số quét dầu do ảnh hưởng dòng chảy chéo giữa các lớp tiếp giáp nhau và có độ thấm khác biệt lớn (Hình 2 và 3).

Trên cơ sở hợp tác nghiên cứu khoa học và kiểm tra chéo giữa các phòng thí nghiệm về nâng cao hệ số thu hồi dầu, Phòng Thí nghiệm Công nghệ mỏ đã thực hiện mẫu thứ 8 theo mô hình phân lớp. Kết quả cho thấy lượng dầu thu hồi do bơm ép nút polymer đạt tới 16,6%, động thái đẩy thêm dầu cũng hoàn toàn thống nhất với các thí nghiệm đã thực hiện tại Vietsovpetro [1].

Cơ chế thu hồi dầu khi bơm ép polymer qua mô hình phân lớp được đánh giá là sự điều chỉnh hướng chảy của dòng nước bơm ép từ đới có độ thấm cao lên đới có độ thấm thấp, làm tăng hệ số quét dầu bởi nước bơm ép do có tác động của nút polymer chuyển động chậm (Hình 3). Tuy nhiên, phân tích sơ đồ và quy trình bơm đẩy cho thấy ngoài cải thiện hệ số quét, nút polymer có độ nhớt cao cũng được đẩy dần dần trong đới có độ thấm cao. Như vậy, nút polymer này cũng có khả năng đẩy thêm dầu trong đới có độ thấm cao, tức là cải thiện hệ số đẩy dầu trong vùng đã bị nước quét qua. Trong khi đó, kết quả mới chỉ đưa ra tổng lượng dầu thu hồi thêm sau khi bơm ép, động thái khai thác dầu cũng rất khó phân tích chi tiết.

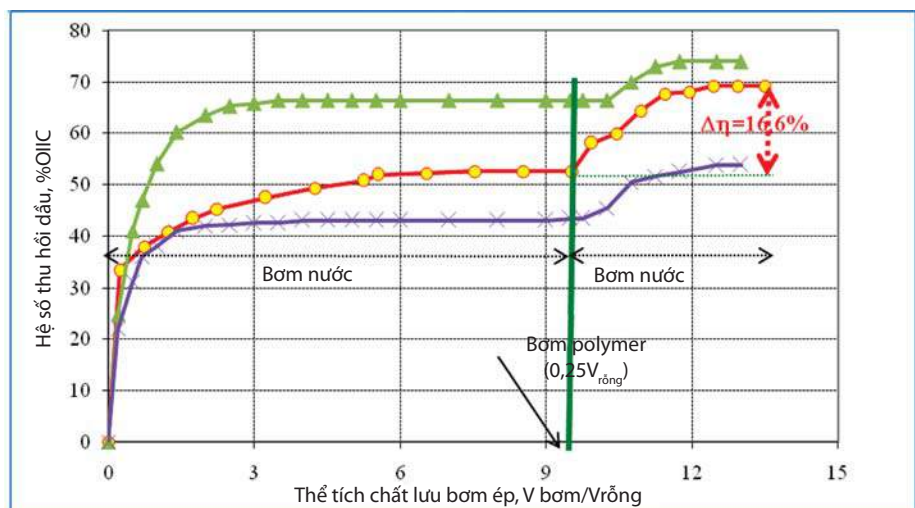
5. Kết quả khảo sát cơ chế đẩy dầu

Từ kết quả đẩy dầu của mẫu thứ 8, nhóm tác giả đã thực hiện khảo sát chi tiết các cơ chế đẩy và quét dầu của nút polymer bằng cách sửa đổi mô hình và quy trình bơm đẩy dầu: đẩy dầu bởi dung dịch polymer trong phần mẫu có độ thấm lớn sau khi đã bơm nước; đẩy dầu bởi dung dịch polymer trong phần mẫu có độ thấm nhỏ sau khi đã bơm nước.

Cả 2 mô hình chi tiết này đều được thực hiện trên cùng điều kiện thí nghiệm (áp suất, nhiệt độ và thể tích bơm đẩy). Các mẫu lõi được lựa chọn với độ đồng nhất cao và được xử lý hết chất lưu (polymer, dầu và nước) trong hệ thống lỗ rỗng sau khi bơm ép. Công việc tái tạo mẫu về trạng thái ban đầu được thực hiện bằng cách ngâm mẫu (đã tạo bão hòa nước và dầu ban đầu) trong dầu ở nhiệt độ cao, thời gian 2 tuần. Phần mẫu lõi không mô phỏng sẽ được lắp đặt các nút đặc bằng thép không có độ rỗng, độ thấm. Tốc độ bơm đẩy nước cũng như nút polymer đều được thiết kế tương đương với dịch chuyển 30 - 60cm/ngày (1 - 2 feet/ngày).

Kết quả bơm đẩy của cả 3 mô hình được trình bày trên Hình 4.

Mô hình vừa phân lớp do Phòng Thí nghiệm Công nghệ mỏ - Viện Dầu khí Việt Nam thực hiện có độ thấm lớn và hệ số thu hồi dầu tăng thêm do bơm ép polymer đạt giá trị cao nhất với 16,6%. Mặc dù hệ số khác nhau tương đối $K_{cao}/K_{thấp} = 6$ nhưng hệ số thu hồi dầu cuối cùng đạt gần 70% và sau bơm ép nước đạt 52%. Hai mô hình bơm ép riêng lẻ cũng cho hệ số thu hồi dầu rất cao khi bơm ép nước và bơm ép polymer.



Hình 4. Kết quả bơm đẩy dầu của các mô hình bơm ép polymer sửa đổi

Động thái thu hồi dầu do bơm ép nước cho thấy phần mẫu có độ thấm lớn sẽ thu hồi dầu nhanh hơn và cao hơn so với phần mẫu có độ thấm thấp. Cả 2 mô hình bơm ép riêng lẻ đều chứng tỏ mức độ đồng nhất cao trong mẫu, tuy nhiên mẫu có độ thấm nhỏ sẽ đạt hệ số thu hồi dầu chậm hơn. Xét trên mô hình ghép, động thái thu hồi dầu do bơm ép nước cho thấy nước đã quét qua cả phần mẫu có độ thấm thấp, đồng thời lượng dầu thu hồi còn có sự đóng góp của hiện tượng mao dẫn giữa phần dầu của phần thấm thấp và phần nước đã quét qua của phần thấm cao hơn (Hình 5). Tổng lượng dầu thu hồi sau bơm ép nước của các mô hình riêng lẻ có giá trị cao hơn so với mô hình ghép, nhưng không nhiều.

Kết quả gia tăng thu hồi dầu do bơm ép polymer của 2 mô hình riêng lẻ chứng tỏ phương pháp này đã cải thiện đáng kể hệ số đẩy dầu trong hệ thống lỗ rỗng (E_D). Lượng dầu gia tăng thu hồi do bơm ép polymer cho mô hình độ thấm lớn đạt 7,6% và cho mô hình độ thấm nhỏ đạt 10,4%. Động thái thu hồi dầu cho thấy các phần mẫu riêng lẻ đã được polymer quét lại đạt khoảng 90% diện tích mà nước đã quét, nhất là đối với mô hình phần mẫu có độ thấm lớn. Tổng lượng dầu thu hồi gia tăng từ bơm ép polymer của 2 mô hình riêng lẻ đạt khoảng 18%, cao

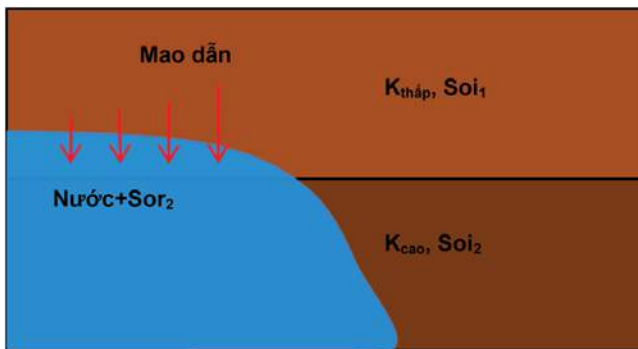
hơn so với mô hình ghép 1,4% và thể hiện tính bất đồng nhất của mô hình ghép.

Giá trị chênh lệch 1,4% cho thấy hiệu quả quét thêm của nút polymer cho mô hình ghép (với độ thấm lớn) đạt không cao do sơ đồ dòng chảy chéo không đạt được hiệu quả tối đa như các mô hình ghép có độ thấm thấp hoặc trung bình. Trên sơ đồ bơm đẩy (Hình 5), dòng chảy chéo chỉ quét thêm phần diện tích nhỏ chứa dầu dư của phần có độ thấm thấp, trong đó chủ yếu quét lại phần diện tích mà nước đã quét qua hoặc mao dẫn đã lấy dầu. Ngoài ra, khoảng cách giữa 2 nút polymer trong 2 phần mẫu cũng là yếu tố ảnh hưởng tới hiệu suất quét của dòng chảy chéo.

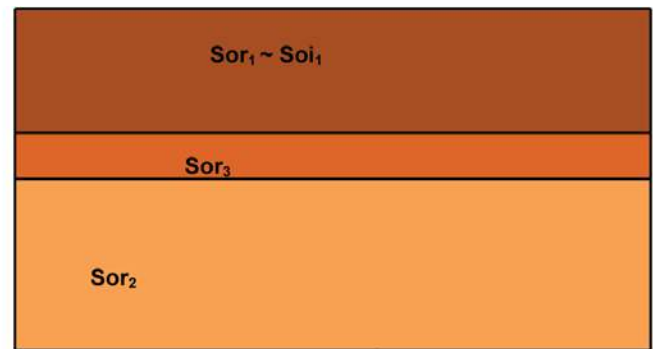
Động thái khai thác dầu do bơm ép polymer của các mô hình cho thấy phần mẫu càng đồng nhất, mặt phân cách polymer - dầu càng ổn định và thời gian nút polymer tới giếng khai thác sẽ lâu hơn nhiều so với mô hình ghép có tính bất đồng nhất cao hơn. Lợi thế tốt nhất của vỉa chứa đồng nhất khi áp dụng bơm ép polymer là hệ số nước (water cut) trong dòng sản phẩm của giếng khai thác sẽ giảm nhanh, mạnh và cũng tăng lại rất nhanh.

6. Kết luận

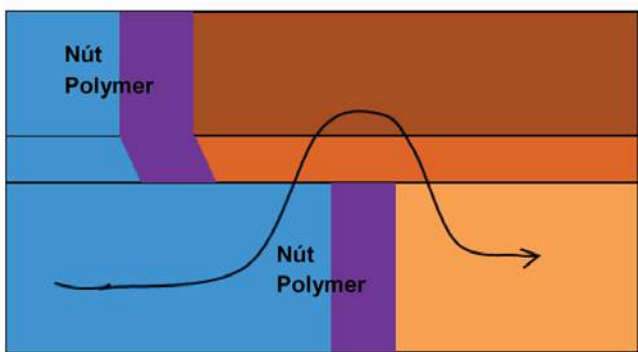
Cơ chế đẩy dầu bằng bơm ép dung dịch polymer cho năng cao hệ số thu hồi dầu bao gồm cải thiện hệ số quét,



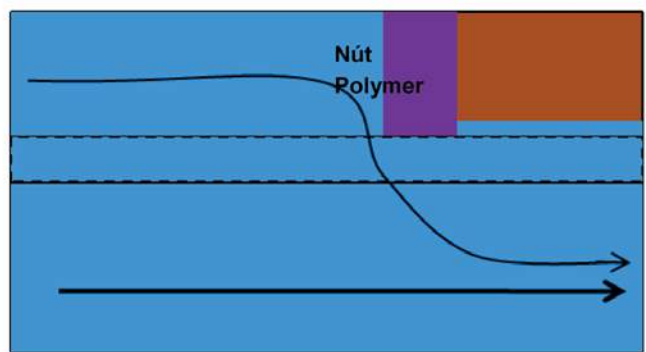
Bắt đầu quá trình đẩy nước



Sau quá trình đẩy nước



Bắt đầu quá trình đẩy polymer



Sau quá trình đẩy polymer

Hình 5. Cơ chế đẩy dầu của polymer qua mô hình phân lớp

hệ số độ linh động và hệ số đẩy dầu. Để áp dụng cho đối tượng Miocen dưới mỏ Bạch Hổ, dung dịch polymer cần phải có đặc tính bền nhiệt trong thời gian dài trong điều kiện môi trường vỉa chứa. Dung dịch polymer có số hiệu A-806 của Viện Nghiên cứu Hạt nhân (Đà Lạt) có thể áp dụng hiệu quả cho đối tượng nghiên cứu. Hệ số gia tăng thu hồi dầu qua mẫu lõi đạt trên 16% và có thể đạt được trong thực tế áp dụng với thời gian ngắn do không phải thay đổi hệ thống khai thác.

Bên cạnh đó, cần tiếp tục nghiên cứu: mô phỏng các cơ chế và phương pháp bơm ép polymer trên mô hình số, phân tích động thái khai thác vỉa và hiện trạng các công trình biển, hệ thống khai thác; tối ưu thể tích nút dung dịch polymer đối với từng giếng và cụm giếng; tối ưu nồng độ dung dịch polymer cho phù hợp với tính bất đồng nhất của vùng vỉa; tối ưu thời điểm bơm ép và kiểm soát nút dung dịch polymer nhằm phát huy hiệu quả quét chéo giữa các tầng có mức độ bất đồng nhất cao.

Tài liệu tham khảo

1. Lê Đình Lăng và nhóm tác giả. *Một số nghiên cứu gia tăng thu hồi dầu cho các mỏ Bạch Hổ và mỏ Rồng*. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ Quốc tế "Dầu khí Việt Nam 2010 - Tăng tốc phát triển". 2010: p. 937 - 948.
2. Nguyễn Hải An, Hồ Anh Phong. *Báo cáo kết quả thử nghiệm bơm ép polymer biến tính bức xạ A-806*. Lưu trữ Phòng Thí nghiệm Công nghệ mỏ - Viện Dầu khí Việt Nam. 2008.
3. Wang Demin, et al. *Study of the Mechanism of polymer solution with visco-elastic behavior increasing microscopic oil displacement efficiency and the forming of steady "oil threat" flow channels*. Paper No. SPE 68723. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. April 17 - 19, 2001.
4. Yang Fuline, et al. *High concentration polymer flooding is successful*. Paper No. SPE 88454, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Oct. 18 - 20, 2004.

Investigating the mechanism of oil displacement by polymer flooding through Bach Ho Lower Miocene core plugs

Nguyen Hai An

Petrovietnam Exploration Production Corporation

Nguyen Hoang Duc, Nguyen Bao Trung

Vietnam Petroleum Institute

Summary

The Bach Ho Lower Miocene reservoir is currently the main object for research on enhanced oil recovery (EOR) by injecting chemicals such as polymer or surfactant solution. Studies in recent years have mentioned the ability of polymer solution to enhance the displacement efficiency. The results of experimental high-concentration heat-resistant co-polymer injection through core plugs from Bach Ho Lower Miocene reservoirs showed that the volume of oil displaced was increased by 12.1% as compared with water injection. A better understanding of the displacement-sweep mechanism will facilitate the design of actual injection scheme for the study reservoirs. This paper presents the results of experiments to examine in detail the displacement mechanisms and improve the sweep efficiency of polymer solution.