

KẾT NỐI THU VIỆN DỮ LIỆU MÔ HÌNH ĐỊA HÓA MÃ NGUỒN MỎ (PHREEQC) VỚI MÔ HÌNH MÔ PHÒNG KHAI THÁC ĐỂ MÔ PHÒNG CÁC TƯƠNG TÁC ĐỊA HÓA VÀ SỰ DỊCH CHUYỂN CỦA NƯỚC BƠM ÉP TRONG VĨA DẦU KHÍ

Kiểu Anh Trung¹, Đoàn Huy Hiền¹, Phạm Quý Ngọc¹, Hà Thu Hương¹, Hoàng Long¹
Lê Thị Thu Hương¹, Nguyễn Minh Quý¹, Ngô Hồng Anh¹, Phạm Thị Thúy²

¹Viện Dầu khí Việt Nam

²Đại học Mỏ - Địa chất

Email: trungka.epc@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Các phản ứng hóa học có thể xảy ra trong quá trình dịch chuyển nước bơm ép trong vỉa (như sa lắng, thành đá, hòa tan, trao đổi cation...) thường không được tính đến trong quá trình mô phỏng khai thác bằng các phần mềm chuyên dụng. Bài báo giới thiệu nguyên lý và phần mềm kết nối giữa mô hình địa hóa mã nguồn mở (PHREEQC) và công cụ mô phỏng khai thác, để xây dựng mô hình mô phỏng tối ưu nhằm đánh giá quá trình dịch chuyển nước bơm ép từ giếng bơm ép đến giếng khai thác. Sự thay đổi dọc đường dịch chuyển của nước vỉa/nước bơm ép do các tương tác địa hóa được tính toán và mô hình hóa dưới dạng 2D/3D. Mô hình kết nối cũng được sử dụng để đánh giá thử nghiệm sự dịch chuyển của lưu thể vỉa giữa giếng bơm ép và giếng khai thác tại một mỏ thực tế.

Từ khóa: PHREEQC, phản ứng địa hóa, bơm ép nước.

1. Giới thiệu

Bơm ép nước là giải pháp hiệu quả để tăng lưu lượng các giếng khai thác, ổn định tỷ số khí - dầu, nâng cao hệ số thu hồi dầu thông qua việc duy trì áp suất vỉa và nâng cao hiệu ứng đẩy và quét. Một số công nghệ bơm ép mới như: bơm ép thông minh, bơm ép nước kết hợp bơm ép khí ngày càng được nghiên cứu ứng dụng nhiều hơn. Tuy nhiên, khi mô phỏng quá trình bơm ép nước, sự thay đổi thành phần hóa học của nước bơm ép cũng như các tương tác của nước bơm ép với nước vỉa thường không được tính đến. Các phần mềm mô phỏng khai thác thông dụng hiện nay (như ECLIPSE, UTCHEM, CMG) chỉ mô phỏng thuần túy quá trình dịch chuyển của chất lưu mà không tính toán đến sự trao đổi và tương tác của hệ chất lưu thông qua các phản ứng hóa học [1]. Các phản ứng hóa học xảy ra trong quá trình dịch chuyển của nước vỉa, nước bơm ép ảnh hưởng rất lớn đến sự thay đổi dòng chảy, thay đổi độ rỗng, góc thấm ướt và lưu lượng khai thác dầu khí. Việc tính toán sự ảnh hưởng của các phản ứng hóa học trong quá trình mô phỏng dòng chảy của lưu thể trong vỉa sẽ cho phép chính xác hóa quá trình mô phỏng khai thác, đặc

biệt khi mô áp dụng các biện pháp giúp gia tăng hệ số thu hồi dầu như: bơm ép nước, bơm ép nước thông minh, bơm ép ASP, bơm ép khí nước luân phiên [2].

Bên cạnh đó, khi mô phỏng khai thác dầu khí, việc khớp lịch sử thường được quan tâm đối với các thông số khai thác chính như: lưu lượng khí (gas rate), lưu lượng dầu (oil rate) và áp suất đáy giếng (bottom-hole pressure). Việc cố gắng khớp lịch sử thành phần nước vỉa khai thác và giải thích sự biến đổi thành phần của nước khai thác trong vỉa do ảnh hưởng của các phản ứng hóa học thường không được chú ý đến. Việc nghiên cứu chuyên sâu về nước khai thác và ứng dụng các giải pháp công nghệ thông tin sẽ cho phép tái tạo bức tranh toàn cảnh về ảnh hưởng của quá trình bơm ép đối với các giếng khai thác, từ đó góp phần nâng cao hiệu quả khai thác dầu khí.

Các phần mềm mô phỏng thường dựa trên các phương trình dòng chảy (như ECLIPSE, CMG) có thể mô phỏng rất tốt quá trình dịch chuyển của lưu thể trong các cấu trúc rỗng nhưng không tính đến việc thay đổi thành phần hóa học của lưu thể, đặc biệt của nước do tương tác hóa học. Ngược lại, các mô hình nhiệt động học mô phỏng các phản ứng địa hóa (như Multiscale, Scalechem, Geochemist) có thể mô tả tốt các phản ứng hóa học xảy ra ở điều kiện bề mặt mà còn tại điều kiện vỉa nhưng không thể

Ngày nhận bài: 11/11/2019. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 11 - 14/11/2019.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 6/12/2019.

mô phỏng sự biến đổi về pha, về lưu lượng khi dịch chuyển trong hệ thống rỗng. Do vậy, việc tìm ra phương pháp kết hợp một phần mềm mô phỏng có thể vừa mô phỏng quá trình khai thác dầu khí, dịch chuyển của chất lưu trong hệ thống rỗng vừa mô phỏng được các tương tác địa hóa tại điều kiện vỉa là nhiệm vụ cần giải quyết để chính xác hóa sự ảnh hưởng của nước bơm ép đối với các giếng khai thác dầu khí. Một mô hình mô phỏng sự dịch chuyển và tương tác hóa học (reactive transport modelling) là nội dung chính của nghiên cứu được trình bày trong bài báo này.

2. Phương trình vận chuyển ion hòa tan theo dòng chảy

Phương trình dòng chảy 1 chiều 2 pha Buckley-Leverett (BL) [3] như sau:

$$u \frac{\partial f_w}{\partial x} + \phi \frac{\partial S_w}{\partial t} = 0 \tag{1}$$

Trong đó:

u: Vận tốc Darcy được định nghĩa là lưu lượng của dòng chảy trên một đơn vị diện tích; ϕ, f_w, S_w là độ rỗng, tỷ phần dòng chảy nước và độ bão hòa nước tương ứng.

Tỷ phần dòng chảy là tỷ số giữa lưu lượng nước (q_w) và lưu lượng tổng (q_t).

Lời giải số của phương trình (1) được trình bày dưới đây thông qua lưới tính toán thể hiện ở Hình 1. Với lưới tính toán này, tại mỗi ô lưới i, lấy tích phân 2 vế, phương trình (1) trở thành:

$$\phi \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} \frac{\partial S_w}{\partial t} dx = -u \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} \frac{\partial f_w}{\partial x} dx \tag{2}$$

Rời rạc hóa tích phân 2 vế của phương trình (2) theo chiều không gian, ta có:

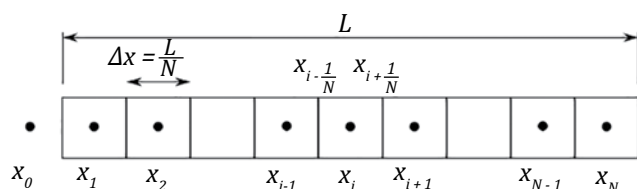
$$\phi \frac{d}{dt} (\Delta x S_{w,i}) = -u (f_{w,i+\frac{1}{2}} - f_{w,i-\frac{1}{2}}) \tag{3}$$

Phương trình (3) tương đương với:

$$\phi \Delta x \left(\frac{S_{w,i}^{n+1} - S_{w,i}^n}{\Delta t} \right) = -u (f_{w,i+\frac{1}{2}} - f_{w,i-\frac{1}{2}}) \tag{4}$$

Phương trình hàm ẩn của độ bão hòa nước:

$$S_{w,i}^{n+1} = S_{w,i}^n - \frac{u \Delta t}{\phi \Delta x} (f_{w,i} - f_{w,i-1}) \tag{5}$$



Hình 1. Lưới tính toán cho lời giải số phương trình (1)

Phương trình Buckley-Leverett đối với trường hợp nước chứa một hàm lượng nhất định ion chất hòa tan (1) [4 - 6]) như sau:

$$u \frac{\partial}{\partial x} (f_w C_\gamma) + \phi \frac{\partial}{\partial t} (S_w C_\gamma) = 0 \tag{6}$$

Sử dụng khái niệm vận tốc hạt (particle velocity) phương trình (6) được viết lại như sau:

$$\phi \frac{\partial C_\gamma}{\partial t} + u h \frac{\partial C_\gamma}{\partial x} = 0 \tag{7}$$

hoặc là:

$$\frac{\partial C_\gamma}{\partial t} + \frac{u f_w}{\phi S_w} \frac{\partial C_\gamma}{\partial x} = 0 \tag{8}$$

Phương trình vi phân đạo hàm riêng (8) và sẽ được giải dưới dạng hàm ẩn sau:

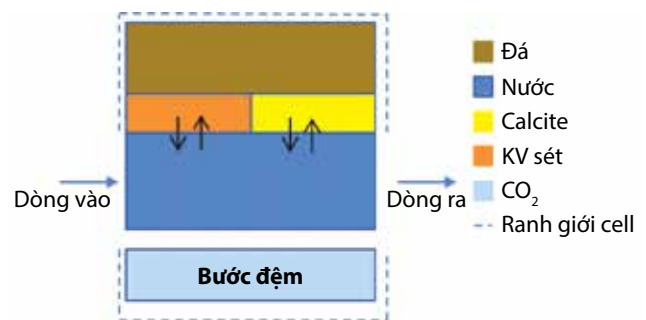
$$C_{\gamma,i}^{n+1} = C_{\gamma,i}^{n+1} - \frac{\Delta t u f_w^n}{\phi \Delta x S_w^n} (C_{\gamma,i}^n - C_{\gamma,i-1}^n) \tag{9}$$

Phương trình (9) trình bày quá trình vận chuyển ion trong nước.

3. Kết hợp phản ứng hóa học trong quá trình mô phỏng dòng chảy lưu thể vỉa

Khi các ion hóa học trong dung dịch tương tác với nhau, tương tác, trao đổi cation với đất đá vỉa xung quanh, hoặc ít nhất sẽ trộn lẫn với nhau tạo thành dung dịch có nồng độ khác ở trạng thái cân bằng (Hình 3). Việc tích hợp phương trình dòng chảy và thực hiện các quá trình hóa học rất quan trọng trong việc đánh giá định lượng ảnh hưởng của giếng bơm ép lên giếng khai thác bằng các phương pháp phân tích hóa học [7].

Trong quá trình dịch chuyển các phản ứng sau thường xảy ra giữa nước bơm ép và đất đá vỉa và cần được tính đến khi mô phỏng [9].



Hình 2. Mô hình tương tác đất đá trong một cell tính toán [8]

• Các phản ứng hóa học trong môi trường nước:

$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-; K = 10^{-14,0}$	$Ba^{2+} + HCO_3^- \leftrightarrow BaHCO_3^+; K = 10^{0,982}$
$Ba^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow BaCO_3; K = 10^{2,71}$	$Ba^{2+} + H_2O \leftrightarrow BaOH^+ + H^+; K = 10^{-13,47}$
$CO_3^{2-} + H^+ \leftrightarrow HCO_3^-; K = 10^{10,329}$	$Mg^{2+} + CO_3^{2-} + H^+ \leftrightarrow MgHCO_3^+; K = 10^{11,399}$
$Ca^{2+} + CO_3^{2-} + H^+ \leftrightarrow CaHCO_3^+; K = 10^{11,435}$	$Na^+ + HCO_3^- \leftrightarrow NaHCO_3; K = 10^{-0,25}$
$Sr^{2+} + CO_3^{2-} + H^+ \leftrightarrow SrHCO_3^+; K = 10^{11,509}$	$Na^+ + CO_3^{2-} \leftrightarrow NaCO_3^-; K = 10^{1,27}$
$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow CaCO_3; K = 10^{3,244}$	$Mg^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow MgCO_3; K = 10^{2,98}$
$Sr^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow SrCO_3; K = 10^{2,81}$	$Ca^{2+} + H_2O \leftrightarrow CaOH^+ + H^+; K = 10^{-12,78}$
$Mg^{2+} + H_2O \leftrightarrow MgOH^+ + H^+; K = 10^{-11,44}$	$Na^+ + OH^- \leftrightarrow NaOH; K = 10^{-10}$
$Sr^{2+} + H_2O \leftrightarrow SrOH^+ + H^+; K = 10^{-13,29}$	

• Các phản ứng hóa học hòa tan và hình thành đá/sa lắng:

Aragonite	$CaCO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$ $K_{SP} = 10^{-8,336}$	Strontianite	$SrCO_3 \leftrightarrow Sr^{2+} + CO_3^{2-}$ $K_{SP} = 10^{-9,271}$
Calcite	$CaCO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$ $K_{SP} = 10^{-8,48}$	Sylvite	$KCl \leftrightarrow K^+ + Cl^-$ $K_{SP} = 10^{0,9}$
Celestite	$SrSO_4 \leftrightarrow Sr^{2+} + SO_4^{2-}$ $K_{SP} = 10^{-6,119}$	Dolomite	$CaMg(CO_3)_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + CO_3^{2-}$ $K_{SP} = 10^{-17,09}$
Halite	$NaCl \leftrightarrow Na^+ + Cl^-$ $K_{SP} = 10^{1,57}$	Witherite	$BaCO_3 \leftrightarrow Ba^{2+} + CO_3^{2-}$ $K_{SP} = 10^{-8,562}$

• Các phản ứng trao đổi cation giữa nước và đất đá vữa:

$Na^+ + X^- \leftrightarrow NaX$ $K_{ex} = 10^{0,9}$	$K^+ + X^- \leftrightarrow KX$ $K_{ex} = 10^{0,7}$
$Ca^{2+} + 2X^- \leftrightarrow CaX_2$ $K_{ex} = 10^{0,8}$	$Mg^{2+} + 2X^- \leftrightarrow MgX_2$ $K_{ex} = 10^{0,6}$
$Ba^{2+} + 2X^- \leftrightarrow BaX_2$ $K_{ex} = 10^{0,91}$	$Sr^{2+} + 2X^- \leftrightarrow SrX_2$ $K_{ex} = 10^{0,8}$

Một số phần mềm địa hóa có thể mô phỏng các tương tác địa hóa như MINEQL+ (Schecher và McAvoy, 1992), Geochemist's Workbench (Bethke và Yeakel, 2009), PHREEQC [10]. Tuy nhiên, nghiên cứu sử dụng mô hình địa hóa mã nguồn mở PHREEQC vì cung cấp khả năng tính toán cho mô hình hóa vận chuyển kết hợp tương tác hóa học, đặc biệt trong môi trường rỗng với sự có mặt của 3 pha dầu, khí và nước.

PHREEQC (pH-Redox-Equilibrium in C programming language) được phát triển bởi Hiệp hội Địa chất Hoa Kỳ

(United States Geological - Survey USGS). Đây là công cụ hữu ích để mô phỏng các nghiên cứu về vận chuyển và tương tác hóa học với thư viện dữ liệu phong phú. PHREEQC có khả năng tính toán các chỉ số trạng thái bão hòa (saturation index) và đặc trưng hóa học của hợp chất và ion trong nước, tính toán các cân bằng phản ứng (reactions balance) và tính toán sự dịch chuyển trong mô hình 1 chiều (1D reactive transport) của các hợp phần kết hợp với các phản ứng thuận nghịch hoặc bất thuận nghịch như hòa tan trong nước, kết tủa, trao đổi ion, tương tác bề mặt, chuyển khối, phối trộn và mô hình nghịch đảo [10].

Mô hình toán học chính được sử dụng để xác định các đặc trưng hóa học trong PHREEQC là các phương trình cân bằng phản ứng dạng mole (mole balance equations), mô hình hằng số hoạt độ (activity coefficient model) và các giá trị tích số tan. Mô hình hằng số hoạt độ là mô hình được sử dụng để mô tả mối quan hệ giữa hằng số hoạt độ của các hợp chất và lực ion trong dung dịch. Đặc điểm nổi bật của PHREEQC là:

- Có thể tính toán các phản ứng hóa học trong dung dịch có tiếp xúc với pha khí;
- Có thể tính toán các cân bằng cũng như động học phản ứng của các tương tác rắn/lỏng;
- Có các thư viện đầy đủ về mô hình hằng số hoạt độ của nhiều phản ứng tại các nhiệt độ, áp suất khác nhau.

Sử dụng PHREEQC có thể mô phỏng tốt các tương tác địa hóa trong mô hình vận chuyển 1 chiều (1D), tuy nhiên áp dụng cho mô hình dòng chảy đa pha 2D/3D (dầu và khí) thì có một số hạn chế. Do đó, cần kết nối PHREEQC với mô hình mô phỏng vỉa chuyên biệt để chính xác hóa các tương tác địa hóa xảy ra trong vỉa tại độ sâu lớn, nhiệt độ và áp suất lớn. Sử dụng Matlab và các công cụ dưới dạng mã nguồn mở (như MRST - Matlab Reservoir Simulation Toolbox [11]) kết nối với PHREEQC sẽ giải quyết được bài toán mô hình dòng chảy đa pha 2D/3D trong môi trường vỉa rỗng, đồng thời có thể xuất và hiển thị các kết quả một cách dễ dàng.

4. Kết nối PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác

Để kết nối PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác, nghiên cứu sử dụng công cụ IPhreeC, được phát triển dựa trên PHREEQC. IPhreeC [12] là công cụ có thể giúp tích hợp các hàm, thư viện của PhreeQC vào các ngôn ngữ lập trình (như C, C++) hoặc được gọi từ các phần mềm ứng

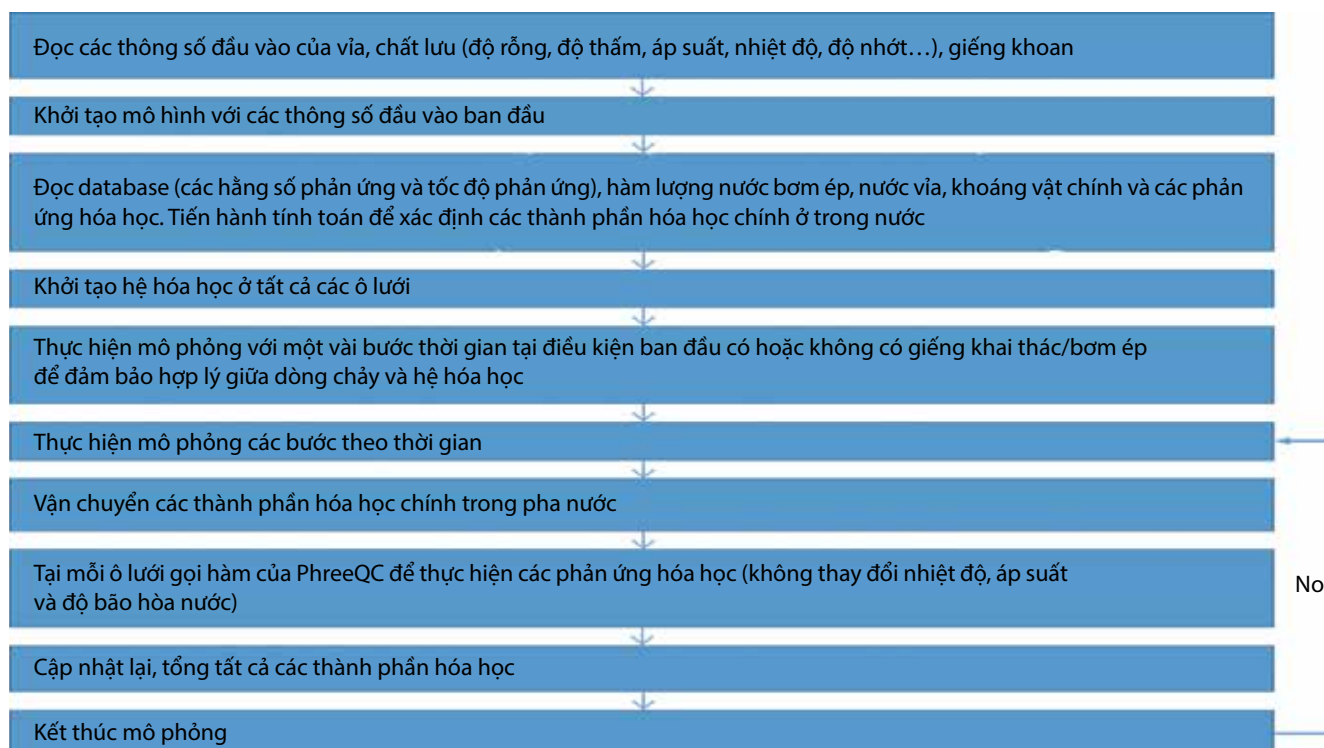
dụng của windows như (Microsoft Excel, Matlab...) thông qua cổng giao tiếp COM module [13]. Điều đó cho phép việc kết hợp giữa các phương trình dòng chảy ion với các quá trình địa hóa có thể được thực hiện dễ dàng hơn. Quy trình kết nối PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác như sau:

Khi kết nối PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác, sự biến đổi của các ion trong nước khi dịch chuyển có sự khác biệt lớn với mô hình mô phỏng thuần túy không tính đến các tương tác hóa học. Hình 4 thể hiện kết quả mô phỏng dịch chuyển nước bơm ép của 2 trường hợp trong cùng một mô hình có đặc trưng rỗng, thấm như nhau.

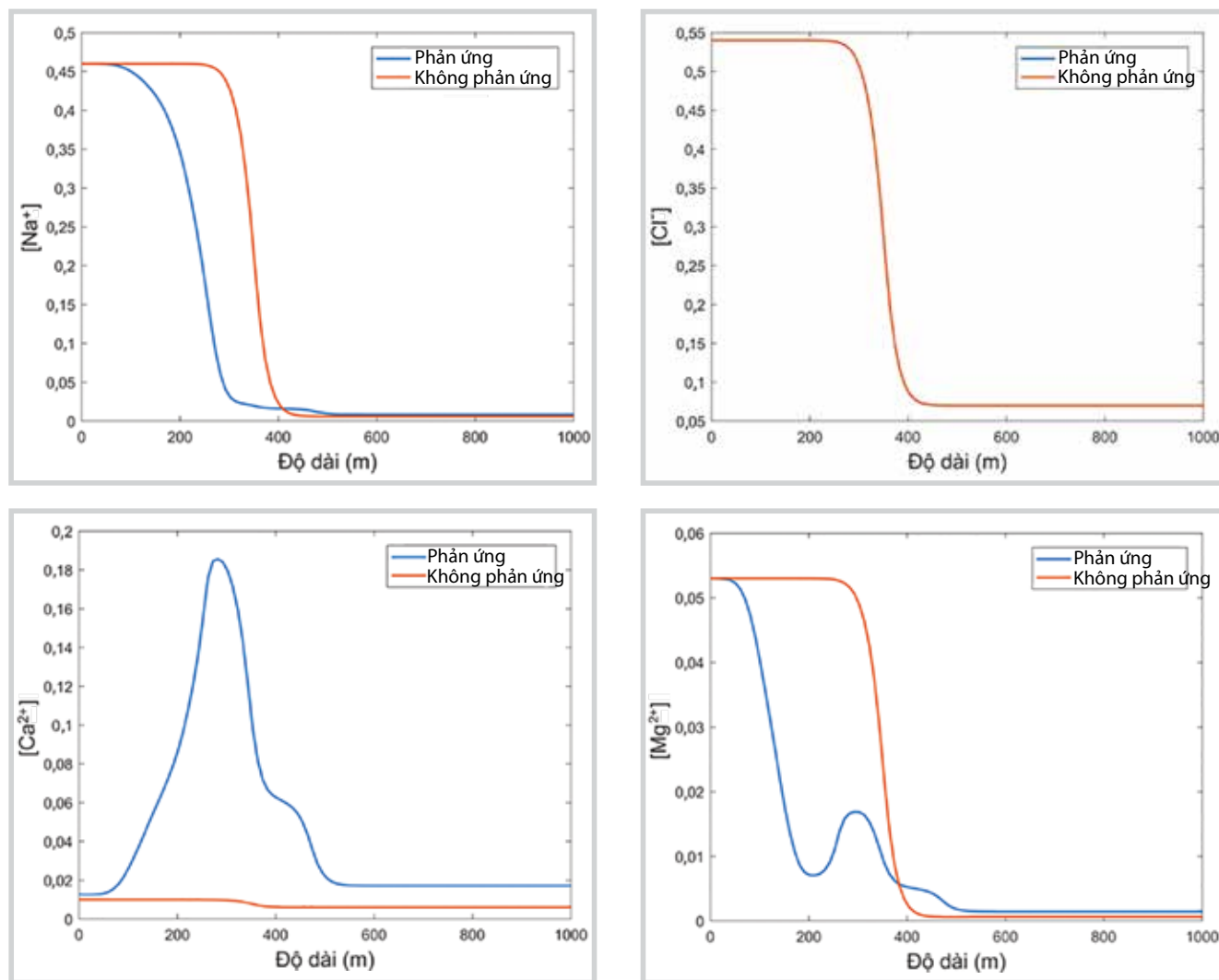
5. Áp dụng mô phỏng quá trình dịch chuyển nước bơm ép trong vỉa

Sau khi kết nối thành công PHREEQC với công cụ MRST, nhóm nghiên cứu áp dụng để mô phỏng sự dịch chuyển nước bơm ép và tương tác với đất đá vỉa, nước vỉa dọc đường dịch chuyển đến giếng khai thác. Các thông số vỉa và dữ liệu đầu vào được thể hiện trong Bảng 1.

Kết quả mô phỏng dưới dạng lát cắt 2D được thể hiện trên Hình 6 (độ bão hòa nước và sự dịch chuyển của ion Cl⁻) và kết quả khớp lịch sử thành phần hóa học của một số ion đặc trưng trong nước khai thác tại giếng khai thác được thể hiện trên Hình 7.



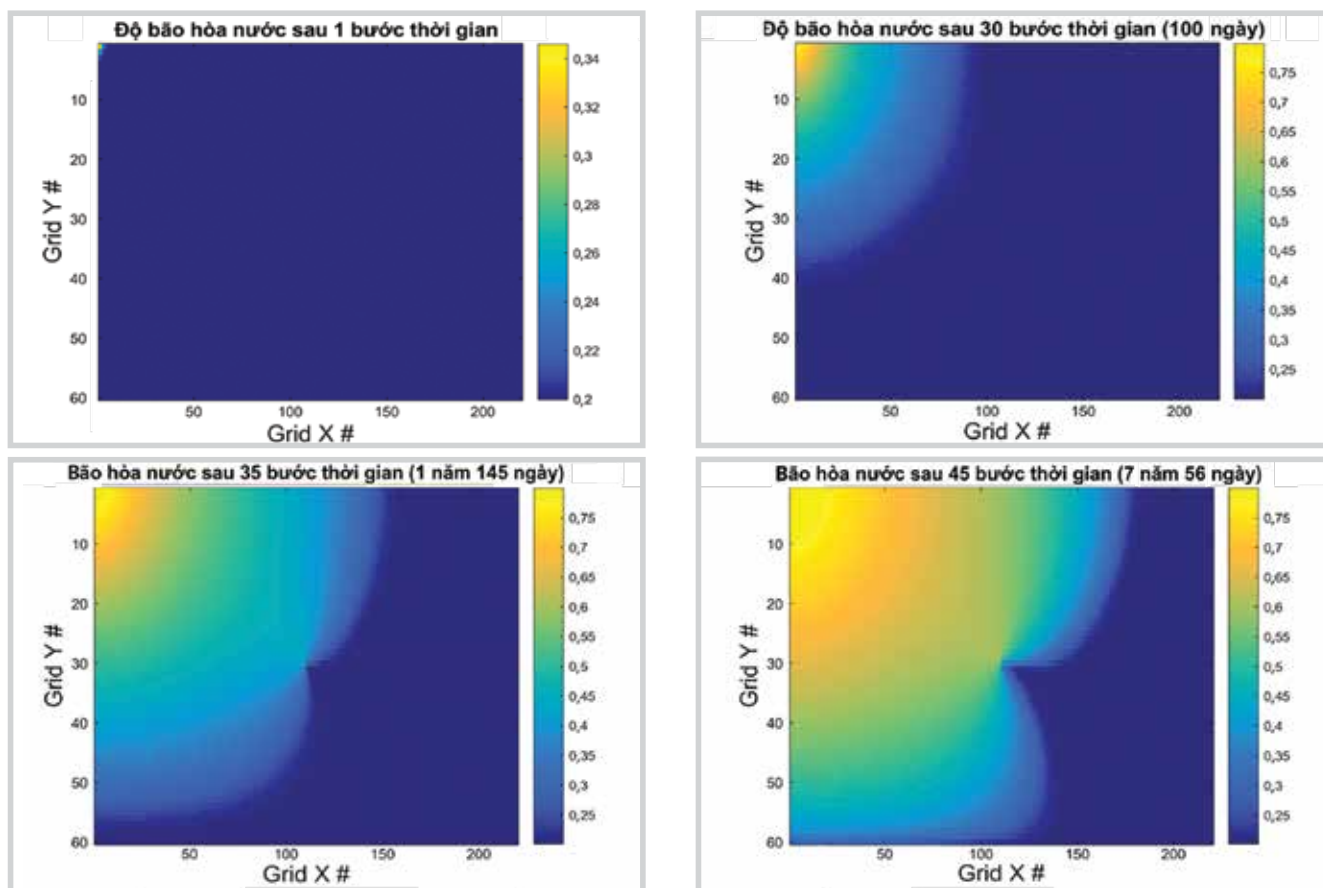
Hình 3. Quy trình kết nối PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác



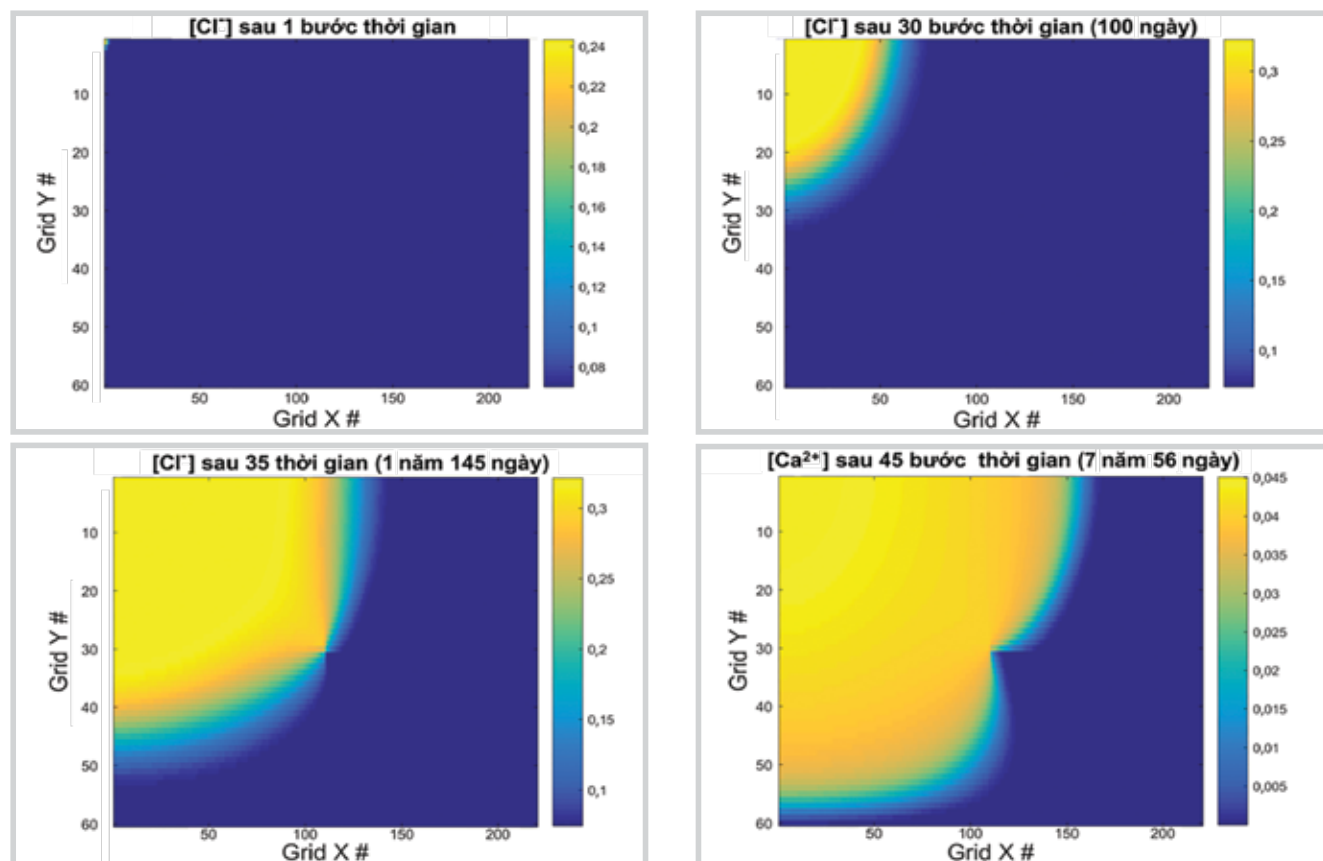
Hình 4. So sánh kết quả mô phỏng quá trình vận chuyển ion trong dòng chảy với tương tác và không tương tác hóa học trong suốt quá trình bơm ép

Bảng 1. Thông số đầu vào cho mô phỏng

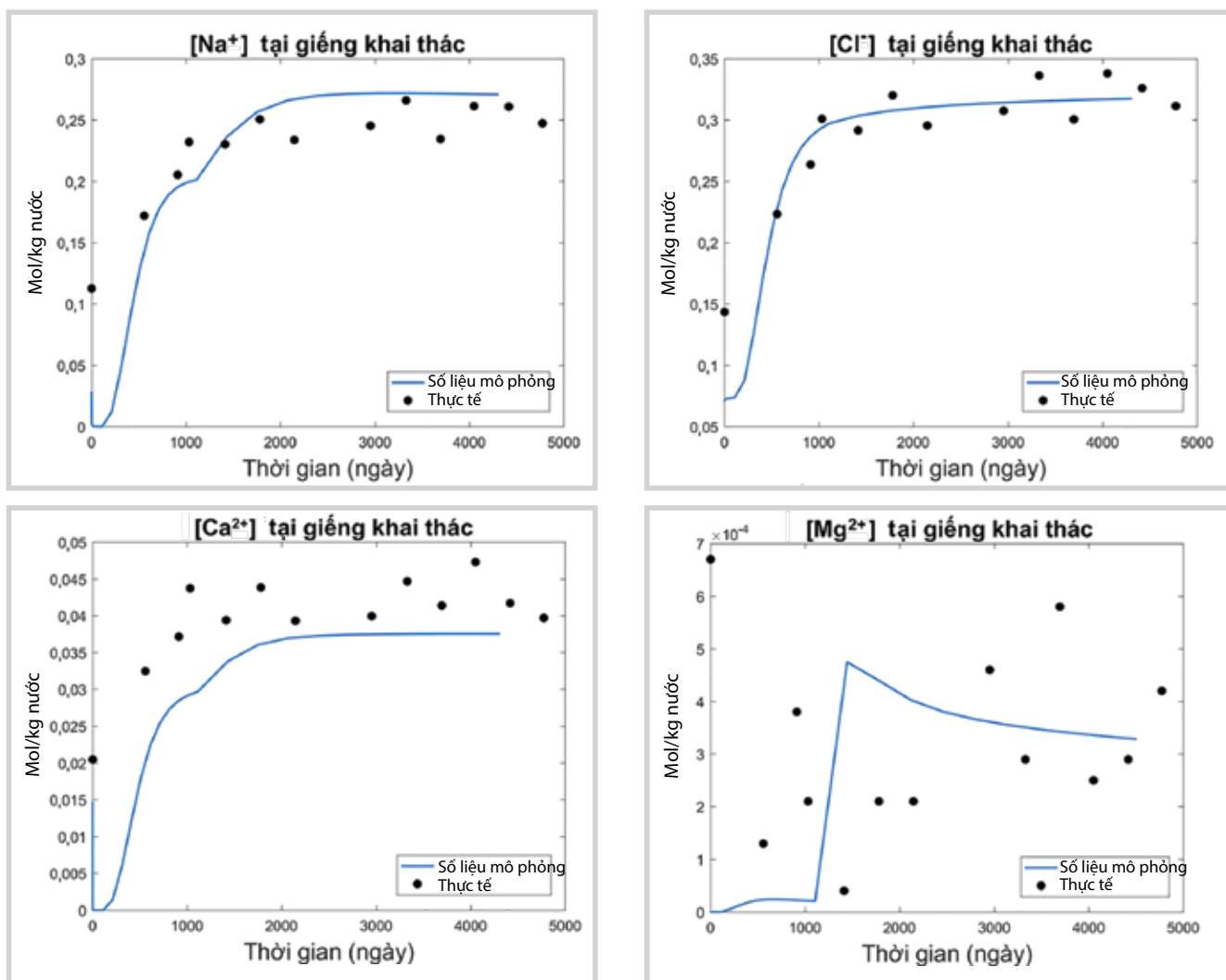
Độ rỗng trung bình	0,17	
Hệ số Corey	2 - nước, 5 - dầu	
Độ nhớt (Pa.s)	1 ^{e-3} - nước, 2 ^{e-3} - dầu	
Độ bão hòa dầu dư	0,2	
Độ bão hòa nước dư	0,2	
Độ bão hòa nước ban đầu	0,2	
Độ thấm trung bình (mD)	200	
Diện tích vỉa (m ²)	600 × 2.200m	
Độ lớn của lưới	10m	
Độ thấm tương đối cuối của dầu	1	
Độ thấm tương đối cuối của nước	0,25	
Hàm lượng các ion trong nước (mol/kgw)	Nước bơm ép	Nước vỉa
Na ⁺	0,46	0,006
Ca ²⁺	0,01	0,006
Mg ²⁺	0,053	0,0006
Cl ⁻	0,54	0,07
HCO ₃ ⁻	0,001	0,0001
SO ₄ ²⁻	0,027	0,0002



Hình 5. Mặt cắt 2D mô phỏng độ bão hòa nước theo thời gian mô phỏng



Hình 6. Mặt cắt 2D mô phỏng sự thay đổi hàm lượng Cl trong nước bơm ép theo thời gian mô phỏng



Hình 7. Khớp lịch sử thành phần ion mẫu nước khai thác tại giếng khai thác

Sự kết nối giữa PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác cho phép mô tả sự thay đổi thành phần hóa học của nước khai thác dọc đường dịch chuyển trong vỉa. Bên cạnh phương pháp bơm ép nước truyền thống, trong khai thác dầu khí sẽ cần áp dụng các phương pháp khác liên quan đến bơm ép trong đó có các tương tác địa hóa như bơm ép nước thông minh, bơm ép khí nước luân phiên, bơm ép ASP, bơm ép surfactant. Cần thiết phải mô tả các tương tác địa hóa giữa nước bơm ép và đất đá vỉa cũng như các lưu thể khác trong vỉa, từ đó cho phép đánh giá ảnh hưởng của quá trình bơm ép đối với hiệu quả tăng cường thu hồi dầu.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã giới thiệu các bước để kết nối mô hình địa hóa với mô hình mô phỏng khai thác. Một phần mềm hoàn chỉnh dựa trên kết nối giữa PHREEQC và MRST cho phép mô tả chính xác sự dịch chuyển của dòng nước bơm

ép trong vỉa và có tính đến các tương tác địa hóa xảy ra giữa nước và đất đá vỉa cũng như ảnh hưởng bởi áp suất và nhiệt độ vỉa. Mô hình kết nối giữa PHREEQC với mô hình mô phỏng khai thác đã khắc phục được nhược điểm của các mô hình mô phỏng khai thác đang được sử dụng và mở ra hướng nghiên cứu chuyên sâu cho việc nghiên cứu các quá trình bơm ép hóa học trong khai thác dầu khí.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn USGS đã cung cấp công cụ mã nguồn mở PHREEQC để sử dụng trong nghiên cứu và Viện Dầu khí Việt Nam đã tài trợ kinh phí để thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. Marco De Lucia, Michael Kühn. *Coupling R and PHREEQC: Efficient programming of geochemical models*. Energy Procedia, 2013; 40: p. 464 - 471.

2. Ji Ho Lee, Kun Sang Lee. *Geochemical evaluation of low salinity hot water injection to enhance heavy oil recovery from carbonate reservoirs*. Petroleum Science. 2019; 16: p. 366 - 381.
3. L.Dake. *Fundamentals of reservoir engineering (19th edition)*. Elsevier. 1978.
4. Aruoture Voke Omekeh, Helmer A.Friis, Ingebret Fjelde, Steianar Evje. *Modeling of Ion-Exchange and solubility in low salinity water flooding*. SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA. 14 - 18 April 2012.
5. Eli L.Isaacson. *Global solution of a riemann problem for non strictly hyperbolic system of conservation laws arising in enhanced oil recovery*. Enhanced Oil Recovery Institute, University of Wyoming. 1989.
6. Deniz M.Dindoruk, Birol Dindoruk. *Analytical solution of nonisothermal Buckley-Leverett flow including tracers*. SPE Reservoir Evaluation & Engineering. 2008: p. 555 - 564.
7. Tina Puntervold, Tor Austad. *Injection of seawater and mixtures with produced water into North Sea chalk formation: Impact of fluid-rock interactions on wettability and scale formation*. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2008; 63: p. 23 - 33.
8. J.B.Wouter. *Simulation of geochemical processes during low salinity water flooding by coupling multiphase Buckley-Leverett flow to the geochemical package PHREEQC*. MSc thesis TUDeft. 2006.
9. Aboulghasem Kazemi Nia Korrani, Kamy Sepehrnoori, Mojdeh Delshad. *Coupling IPhreeqc with UTCHEM to model reactive flow and transport*. Computers & Geosciences. 2015; 82: p. 152 - 169.
10. D.L.Parkhurst, C.A.J Appelo. *User's guide to PHREEQC (Version2) - A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259. 1999.
11. Knut-Andreas. Lie. *An Introduction to Reservoir Simulation Using MATLAB/GNU Octave: User guide for the MATLAB reservoir simulation toolbox (MRST)*. Cambridge University Press. 2019.
12. S.R.Charlton, D.L.Parkhurst. *Modules based on the geochemical model PHREEQC for use in scripting and programming languages*. Computer & Geosciences. 2011; 37: p. 1653 - 1664.
13. Haishan Luo, Emad W.Al-Shalabi, Mojdeh Delshad, Krishna Panthi, Kamy Sepehrnoori. *A robust geochemical simulator to model improved oil recovery methods*. SPE Reservoir Simulation Symposium, Houston, Texas, USA. 23 - 25 February, 2015.

COUPLING BETWEEN PHREEQC AND RESERVOIR PRODUCTION MODEL TO SIMULATE THE REACTIVE TRANSPORT OF INJECTED WATER IN OIL AND GAS RESERVOIRS

Kieu Anh Trung¹, Doan Huy Hien¹, Pham Quy Ngoc¹, Ha Thu Huong¹, Hoang Long¹
 Le Thi Thu Huong¹, Nguyen Minh Quy¹, Ngo Hong Anh¹, Pham Thi Thuy²

¹Vietnam Petroleum Institute

²Hanoi University of Mining and Geology

Email: trungka.epc@vpi.pvn.vn

Summary

Many chemical reactions occur during transport of fluid in oil reservoirs such as scaling, dissolution, evaporation and cation exchange. However, these parameters are usually not considered in reservoir simulators. This paper presents a method of coupling between geochemical code (PHREEQC) and a reservoir modelling tool. This coupling creates a useful software to simulate the reactive transport of injected water from injection well to production well. The change of water chemical composition due to interaction between fluid and rock, and between fluid and fluid will be calculated and visualised under 2D/3D graphic. The coupling model is also tested with real data.

Key words: PHREEQC, geochemical reaction, injected water.