SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐẶC TRƯNG ĐỊA HÓA ĐỂ XÁC ĐỊNH HƯỚNG DỊCH CHUYỂN CỦA NƯỚC TRONG KHAI THÁC DẦU KHÍ

Kiều Anh Trung[1], Nguyễn Minh Quý[1], Lê Thị Thu Hường[1]
Trương Văn Dũng[1], Vũ Việt Hưng[2], Hoàng Long[1]
[1]Viện Dầu khí Việt Nam
[2]Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí (PVEP)
Email: trungka.epc@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu phương pháp sử dụng các đặc trưng địa hóa để đánh giá và xác định hướng dịch chuyển của nước khai thác. Trong đó, thành phần hóa học của nước sẽ cung cấp thông tin về nguồn gốc độ mặn cũng như các tương tác đất đá - nước vỉa đã xảy ra trong quá trình thành tạo và dịch chuyển của nước. Tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ cũng được sử dụng để phân biệt các lớp trầm tích và nguồn gốc thành tạo của nước vỉa, từ đó đánh giá hướng dịch chuyển của nước vỉa. Nghiên cứu đã được áp dụng vào thực tế để xác định nguồn gốc của nước vỉa tầng móng của mỏ thuộc bể Cửu Long, cho phép dự báo cũng như kiểm soát quá trình ngập nước của mỏ tốt hơn, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác dầu khí.

Từ khóa: *Nước vỉa, nguồn gốc, đồng vị, tầng móng, bể Cửu Long.*

1. Giới thiệu

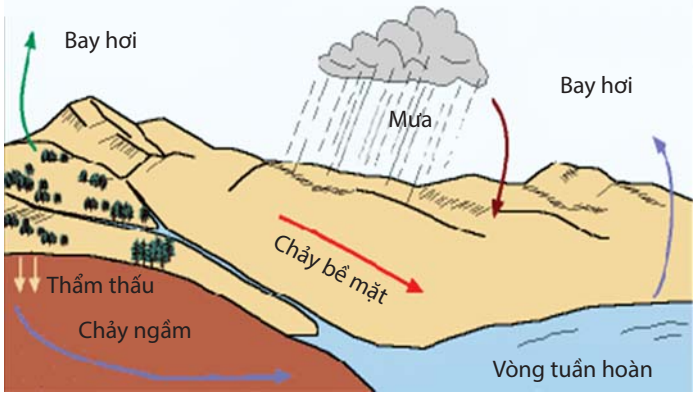
Nước vỉa thường là các phân tử nước bị bẫy lại trong các hệ thống rỗng của lớp trầm tích hoặc do sự thẩm thấu theo các mạch nước ngầm qua các đứt gãy (Hình 1). Nguồn gốc tạo thành của nước vỉa trong các cấu trúc địa chất tại độ sâu lớn và nhiệt độ cao có thể được xác định thông qua phân tích thành phần hóa học của nước và các nguyên tố đồng vị [1].

Sau một thời gian khai thác, một số giếng có hiện tượng ngập nước, thậm chí ở cả các mỏ chưa bơm ép nước. Đối với các mỏ đã bơm ép nước, xác định thời điểm nước xâm nhập hoặc tỷ lệ nước bơm ép với nước vỉa tại chỗ rất quan trọng. Do vậy, việc xác định hướng dịch chuyển của nước trong vỉa là cần thiết để tối ưu khai thác cũng như quá trình bơm ép trong giai đoạn khai thác thứ cấp sau này.

Xác định hướng dịch chuyển của nước vỉa thường dựa trên phân tích và đánh giá các đặc trưng địa hóa của nước vỉa. Trong đó, các nghiên cứu về thành phần hóa học các ion có trong nước và tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ thường được sử dụng và cho kết quả tốt, giúp xác định nguồn gốc của nước vỉa, các tương tác giữa nước và đất đá vỉa, quá trình dịch chuyển của nước vỉa và sự phối trộn giữa các nguồn nước khác nhau [2].

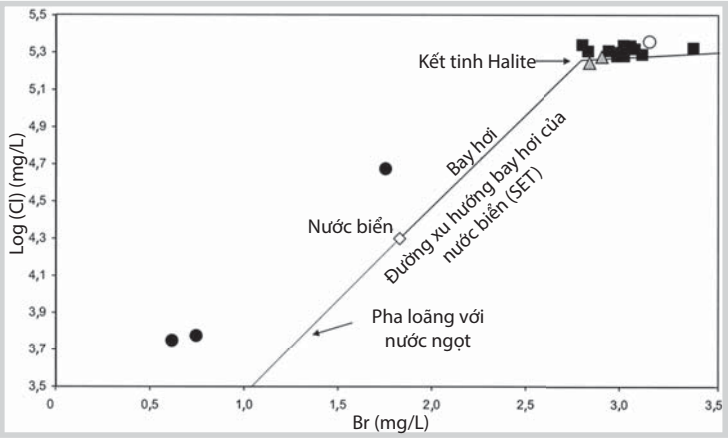
Bài báo giới thiệu phương pháp phân tích thành phần hóa học của nước kết hợp với phân tích tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ trong việc xác định hướng dịch chuyển của nước vỉa. Nhóm tác giả cũng áp dụng phương pháp để xác định nguồn gốc nước vỉa tầng móng của một mỏ thuộc bể Cửu Long có hiện tượng ngập nước cao trong quá trình khai thác. Kết quả của nghiên cứu góp phần nâng cao hiệu quả quản lý mỏ, duy trì áp suất vỉa và tối ưu khai thác.

Nước kiến tạo	Nước andesite	Nước có nguồn gốc do hoạt động núi lửa, hàm lượng clo trong khá tương đồng với nước biển
	Nước nguyên sinh	Nước bắt nguồn từ lớp vỏ manti của trái đất và chưa bao giờ tham gia vào vòng tuần hoàn của nước
	Nước magma	Nước có nguồn gốc từ đá magma và nằm cân bằng với các tinh thể magma ngậm nước
Nước trong vòng tuần hoàn	Nước khí tượng	Bắt nguồn từ sự lắng đọng của bất kỳ loại nước nào xuất hiện trong vòng tuần hoàn nước trên lục địa trong bất kỳ thời kỳ lịch sử (mưa, tuyết, băng đá, nước sông, nước hồ, nước ngầm)
	Nước đại dương	Nước có nguồn gốc từ nước biển đại dương (biển nông, biển sâu hoặc nước lợ)



Hình 1. *Vòng tuần hoàn của nước [2]*

Ngày nhận bài: 8/8/2017. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 8 - 10/8/2017. Ngày bài báo được duyệt đăng: 30/11/2017.



Hình 2. *Đường SET biểu thị mối quan hệ của Cl và Br trong quá trình bay hơi hoặc pha trộn với nước khí tượng [4]*

2. Sử dụng thành phần hóa học xác định môi trường thành tạo của nước vỉa

Về thành phần các ion có trong nước, tỷ lệ các ion halogen (nhóm VIIA), đặc biệt là tỷ lệ Cl/Br thường được sử dụng như một chỉ dấu xác định nguồn gốc độ mặn của nước vỉa, đặc biệt là các loại vỉa có môi trường thành tạo từ nước biển đại dương và có giá trị tổng khoáng hòa tan (TDS) cao [3]. Điều này được giải thích là do các ion Cl^- và Br^- được bảo toàn trong dung dịch, các tương tác nước - đất đá vỉa thường không ảnh hưởng đến hàm lượng của chúng. Nghĩa là trong quá trình dịch chuyển của các phân tử nước và ion chất tan, hàm lượng của các ion Cl^- và Br^- coi như chỉ thay đổi so với ban đầu bởi quá trình hòa trộn dung dịch hoặc bay hơi nước dưới tác dụng của nhiệt độ cao trong vỉa.

Ngược lại với các ion Cl^- và Br^- (được bảo toàn trong dung dịch), các ion kim loại hóa trị I như Na^+, K^+ và hóa trị II như Ca^{2+}, Mg^{2+} thường dễ thay đổi hàm lượng ban đầu trong dung dịch dưới tác động của tương tác nước - đất đá vỉa, qua đó phản ánh các phản ứng/tương tác của các ion này dọc theo đường di chuyển [4]. Đối với trường hợp này, sự thay đổi hàm lượng của các ion kim loại sẽ giúp hiểu rõ các tương tác giữa nước và đất đá vỉa.

Áp dụng nguyên tắc trên, các nghiên cứu trên thế giới đã phân loại và xác định nguồn gốc độ mặn của các loại nước vỉa, các tương tác đất đá vỉa trong quá trình nước vỉa dịch chuyển trong mỏ, đặc biệt đối với các nước vỉa có giá trị TDS cao.

2.1. Mối quan hệ giữa Cl và Br

Carpenter [5] đã đưa ra đường xu hướng của hàm lượng các ion trong mối quan hệ với Br đối với quá trình bay hơi và phối trộn của nước biển dựa trên các thí nghiệm của Zherebtsova và Volkova [6]. Các đường xu hướng này được kiểm tra và chứng minh bởi các thí nghiệm đo đạc nước vỉa thực tế của McCaffrey và cộng sự [7]. So sánh thành phần hóa học của nước vỉa thành tạo trong các thời kỳ khác nhau với đường xu hướng bay hơi của nước biển là đúng vì thành phần nước biển gần như không thay đổi trong thời gian dài từ kỷ Cambrian [4]. Đường xu hướng này được gọi là đường xu hướng bay hơi của nước biển (SET) [3].

Trong quá trình bay hơi của nước biển, hàm lượng Cl^- sẽ tăng từ 19.300ppm lên khoảng 145.800ppm và bắt đầu hình thành các tinh thể Halite (NaCl). Trong khi đó, hàm lượng ion Br^- sẽ tăng từ khoảng 67 - 480ppm với tốc độ tương tự ion Cl^-, do đó tỷ lệ Cl/Br (mol/mol) duy trì tại giá trị khoảng 655. Sau thời điểm xuất hiện Halite, tỷ lệ Cl/Br bắt đầu thay đổi do hàm lượng Cl không đổi trong khi hàm lượng ion Br tiếp tục tăng. Vì thế, trong đa số các nghiên cứu, tỷ lệ mol Cl/Br sẽ được sử dụng để phân biệt độ mặn và nguồn gốc mặn của các loại nước có bắt nguồn từ nước biển khác nhau dựa vào sự so sánh của thành phần hóa học nước vỉa với đường SET.

2.2. Mối quan hệ giữa Br và các cation khác

Nước vỉa tương tác với đất đá với mức độ và dạng thức tùy thuộc vào nhiệt độ, áp suất và thành phần hóa học của nước, thành phần khoáng vật của đất đá vỉa. Các phản ứng hóa học/tương tác vật lý có thể bắt đầu ngay khi trầm tích lắng đọng. Các phản ứng có thể tiếp tục và phát triển trong môi trường áp suất cao, nhiệt độ cao khi bị chôn vùi xuống các tầng sâu hơn cũng như trong quá trình thành đá.

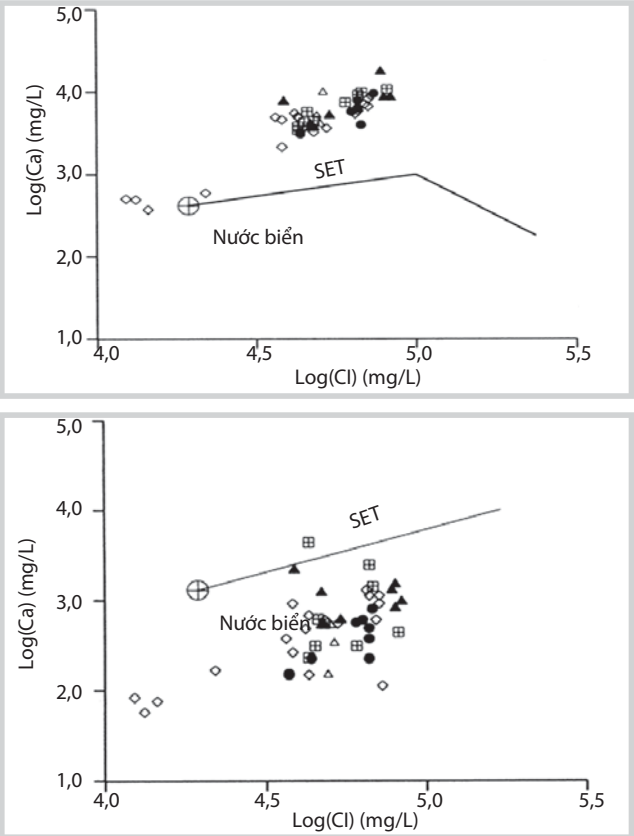
Thành phần hóa học nước vỉa rất đa dạng phụ thuộc vào môi trường thành tạo (nước biển, nước lợ hoặc nước ngọt). Hàm lượng của các ion chất tan có mặt trong nước vỉa ban đầu như Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} có thể thay đổi khi tương tác với các khoáng vật có trong nước vỉa [8]. Một vài khoáng vật dễ có khả năng tương tác nếu trong thành phần nước vỉa có sẵn các cation dễ trao đổi và đang ở trong tình trạng quá bão hòa dưới tác dụng của nhiệt độ và áp suất. Sau khi phản ứng với các khoáng vật thông qua trao đổi cation, sẽ hòa tan một số ion có trong khoáng vật vào nước vỉa và làm thay đổi thành phần hóa học của nước vỉa so với ban đầu.

So sánh tỷ lệ của các cation Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} và halogen (Br^- hoặc Cl^-) với đường SET đặc trưng cho từng cặp ion có thể xác định các cation bị ảnh hưởng bởi các quá trình tương tác với đất đá vỉa (Hình 3). Sau đó, có thể sử dụng một số đánh giá

chi tiết hơn để giải thích sự thay đổi của các cation này trong nước vỉa so với ban đầu (ví dụ sử dụng công thức của Davisson và Criss [9] để kiểm tra mối tương quan Na-Ca-Cl).

Bảng 1 tổng hợp một số quá trình tương tác nước - đất đá vỉa tại nhiệt độ cao/áp suất cao trong quá trình dịch chuyển của nước vỉa trong mỏ, đặc biệt đối với đất đá vỉa chứa các khoáng vật dễ tương tác/trao đổi cation như plagioclase, calcite, K-feldspar [10].

Như vậy, có thể đánh giá sự thay đổi hàm lượng hoặc tỷ lệ hàm lượng các cation, kết hợp với thành phần khoáng vật có trong đất đá vỉa và phân tích quá trình tương tác giữa đất đá vỉa với nước vỉa, qua đó giúp hiểu rõ hơn quá trình thành tạo và dịch chuyển của nước trong vỉa.



Hình 3. *Mối quan hệ giữa Ca, Mg với halogen của mẫu nước vỉa có sự tăng hàm lượng Ca^{2+} và giảm Mg^{2+} so với thành phần ban đầu [8]*

3. Sử dụng nguyên tố đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ để xác định nguồn gốc nước

Strontium là nguyên tố có 4 đồng vị trong tự nhiên và đều là đồng vị bền (hàm lượng lần lượt như sau: ^{84}Sr = 0,56%; ^{86}Sr = 9,86%; ^{87}Sr = 7%; ^{88}Sr = 82,58%). Tuy nhiên, phân đoạn các đồng vị trên không cố định mà thay đổi trong từng mẫu nước/đất đá do ^{87}Sr là đồng vị sinh ra từ sự phân rã β của nguyên tố mẹ - đồng vị phóng xạ ^{87}Rb với thời gian bán hủy là 4,88 x 10^{10} năm [7]. Bên cạnh đó, Rb là một nguyên tố có cấu tạo rất giống với nguyên tố K và có thể thay thế K trong mạng tinh thể của các khoáng vật. Do đó, các mẫu đất đá và nước vỉa có tuổi thành tạo khác nhau sẽ có tỷ lệ Rb/Sr khác nhau và theo thời gian sẽ làm cho hàm lượng ^{87}Sr khác nhau (Hình 4).

Mặt khác, các nghiên cứu cho thấy tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ gần như không bị ảnh hưởng bởi các tương tác hóa học, thay đổi điều kiện nhiệt độ, áp suất mà chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ Rb/Sr và thời gian phân rã. Do đó, xác định được tỷ lệ này sẽ biết nguồn gốc của ^{87}Sr. Như vậy, tỷ lệ $^{87}Sr/^{86}Sr$ trong nước vỉa chính là chỉ dấu tự nhiên cho nguồn gốc của nước vỉa. Bằng cách phân tích tỷ lệ $^{87}Sr/^{86}Sr$ đặc trưng của nước vỉa và khoáng vật thứ sinh trong đất đá vỉa là có thể xác định nước vỉa bắt nguồn từ đối tượng địa chất nào.

4. Áp dụng phương pháp để xác định nguồn gốc nước tại tầng móng mỏ thuộc bể Cửu Long

Khu vực nghiên cứu thuộc phía Đông Bắc bể Cửu Long ngoài khơi bờ biển Việt Nam, bao gồm trầm tích từ Oligocene - đầu Miocene sớm của rift sụt lún (tách giãn) và trầm tích thềm của rìa lục địa thụ động phủ trên móng trước Đệ Tam tuổi Mesozoic muộn từ cuối Miocene muộn - Pleistocene.

Minh giải địa chấn cho thấy, mỏ này gồm 7 đối tượng địa chất lần lượt là: Móng trước Đệ Tam, Trà Tân dưới (tệp E) - Oligocene sớm, Trà Tân trung (tệp D) - Oligocene muộn, Bạch Hổ dưới - Miocene sớm, Bạch Hổ trên - Miocene sớm, Côn Sơn dưới - Miocene trung và Côn Sơn trên - Miocene

Bảng 1. *Một số quá trình thường gặp trong tương tác nước - đất đá vỉa*

Quá trình	Phản ứng	Hệ quả
Pelitization	$(Na, Ca)(Al, Si)_2Si_2O_8 + H^+ + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + Ca^{2+} + Na^+ + SiO_2$ plagioclase → kaolinite	Tăng Ca^{2+}, tăng Na^+
	$2KAlSi_3O_8 + 2H^+ + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4SiO_2$ microcline → kaolinite	Tăng K^+
Dolomitization	$Mg^{2+} + CaCO_3 \rightarrow (Mg, Ca)CO_3 + Ca^{2+}$ calcite → dolomite	Tăng Ca^{2+}, giảm Mg^{2+}
Albitization	$2Na^+ + 4SiO_2 + CaAl_2Si_2O_8 \rightarrow 2NaAlSi_3O_8 + Ca^{2+}$ anorthite → albite	Tăng Ca^{2+}, giảm Na^+
	$Na^+ + KAlSi_3O_8 \rightarrow NaAlSi_3O_8 + K^+$ microcline → albite	Tăng K^+, giảm Na^+

trung. Mặt cắt trầm tích vụn Miocene dưới phủ trên móng nhô cao. Hệ thống đứt gãy chủ yếu hoạt động trong thời kỳ trước Đệ Tam, chỉ còn một số đứt gãy hoạt động trong Miocene. Các đứt gãy này chủ yếu dừng ở tập Miocene dưới. Một số đứt gãy cắt sâu vào trong móng. Nước khai thác được lấy từ tầng móng của mỏ. Mỏ chưa bơm ép nước, nên nước khai thác có thể bắt nguồn từ Miocene dưới hoặc Oligocene (D hoặc E) hoặc nước vỉa nội tại trong móng.

4.1. Phân tích thành phần hóa học nước vỉa

Kết quả phân tích các mẫu nước khai thác từ tầng móng của mỏ khá tương đồng mặc dù thời gian và vị trí giếng lấy mẫu khác nhau. Điều đó cho thấy các giếng khai thác thuộc tầng móng của mỏ có sự liên thông tốt. Giá trị tổng chất rắn hòa tan (TDS) của các mẫu nằm trong khoảng 41 ~ 43g/L, cao hơn so với nước biển, trong đó hàm lượng ion ($Na^+ + Cl^-$) chiếm tới hơn 75% giá trị TDS. Mẫu nước biển của khu vực bể Cửu Long có TDS khoảng 35g/L, như vậy các mẫu nước móng của mỏ có độ mặn cao hơn nước biển tương ứng.

Khảo sát mối quan hệ giữa Cl và Br của mẫu nước vỉa và so sánh với đường SET (Hình 5) cho thấy nước vỉa tầng móng có thể có nguồn gốc từ nước biển (sea water) hoặc nước lợ (brackish water) và đã trải qua quá trình bay hơi.

Phân tích thạch học trầm tích cho thấy, môi trường thành tạo của đối tượng Miocene dưới là nước ngọt sông hồ, trong khi của đối tượng Oligocene là nước lợ vũng vịnh. Như vậy, có thể thấy khả năng nước vỉa tầng móng của mỏ có nguồn gốc từ tầng Oligocene (có thể là tệp D hoặc E). Để xác định cụ thể hướng dịch chuyển của nước vỉa từ tệp D hay E Oligocene xuống móng cần phân tích thêm tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$.

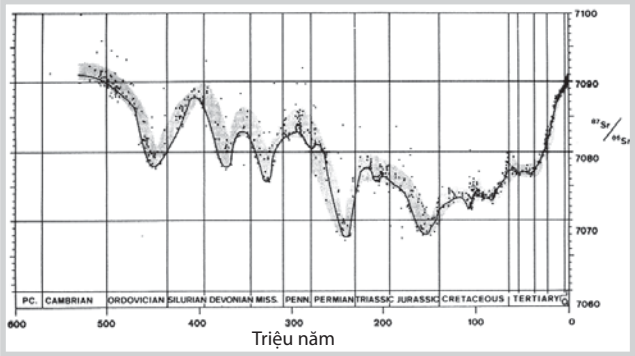
4.2. Phân tích tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$

Trong Hình 6, nước vỉa tầng móng của mỏ có tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ rất gần với giá trị của tệp D Oligocene, đồng thời rất khác biệt so với nước chiết từ đất đá vỉa của tầng móng, của tệp E Oligocene và của Miocene dưới. Điều đó cho thấy, rất có thể tệp D Oligocene là nơi xuất phát của nguồn nước vỉa có trong tầng móng của mỏ.

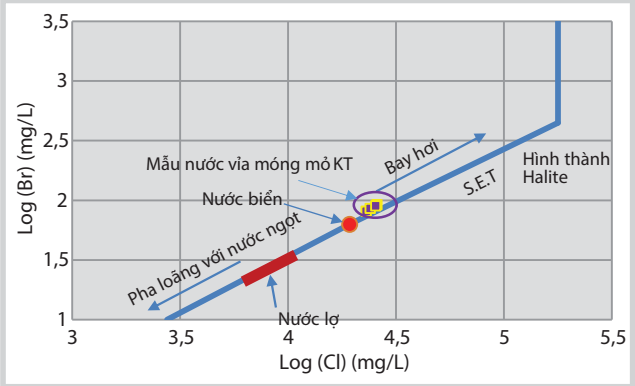
Các kết quả phân tích về thành phần hóa học và các nghiên cứu về địa chất cho thấy nguồn gốc nước vỉa có thể bắt nguồn từ tệp D Oligocene chảy vào móng qua vùng dập nát và/hoặc các đứt gãy phía Đông Nam của mỏ.

5. Kết luận

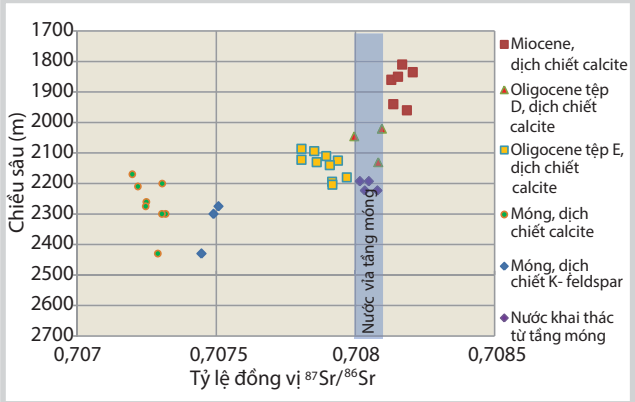
Phương pháp sử dụng đồng vị và thành phần hóa học của nước vỉa để xác định nguồn gốc nước đã được



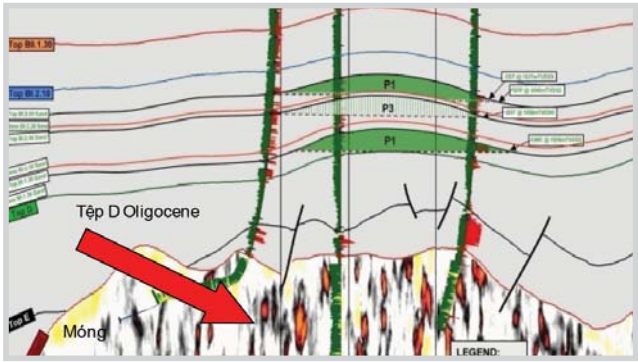
Hình 4. *Sự thay đổi của tỷ lệ $^{87}Sr/^{86}Sr$ của nước biển theo thời gian [12]*



Hình 5. *Kết quả phân tích mối quan hệ Cl-Br của các mẫu nước vỉa móng của mỏ thuộc bể Cửu Long*



Hình 6. *Kết quả phân tích tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ của các mẫu nước vỉa tầng móng và đất đá mỏ KT ở các đối tượng địa chất khác nhau theo chiều sâu*



Hình 7. *Giả thiết nguồn gốc và hướng dịch chuyển của nước vỉa móng của mỏ thuộc bể Cửu Long*

nghiên cứu áp dụng để xác định nguồn gốc nước vỉa tầng móng của mỏ thuộc bể Cửu Long. Các kết quả về thành phần hóa học, tỷ lệ đồng vị $^{87}Sr/^{86}Sr$ cho thấy nguồn gốc nước vỉa của tầng móng của mỏ có thể bắt nguồn từ tệp D Oligocene chảy vào móng qua vùng dập nát phía Đông Nam. Phương pháp này mở ra một hướng nghiên cứu mới cho phép đánh giá hướng dịch chuyển cũng như tỷ lệ pha trộn giữa các thành phần nước khác nhau trong nước khai thác, từ đó cho phép dự báo cũng như kiểm soát quá trình ngập nước của mỏ tốt hơn, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác dầu khí.

Tài liệu tham khảo

1. Lan D.Clark, Peter Fritz. *Environmental isotopes in hydrogeology*. CRC Press. 1997.

2. Timothy P.Wilson, David T.Long. *Geochemistry and isotope chemistry of Michigan Basin brines: Devonian formations*. Applied Geochemistry. 1993; 8(1): p. 81 - 100.

3. Cathy A.Connolly, Lynn M.Walter, H.Baadsgaard, Fred J.Longstaffe. *Origin and evolution of formation waters, Alberta Basin, Western Canada Sedimentary Basin*. I. Chemistry, Applied Geochemistry. 1990; 5(4): p. 375 - 395.

4. Alan M.Stueber, Lynn M.Walter. *Origin and chemical evolution of formation waters from Silurian-Devonian strata in the Illinois basin, USA*. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1990; 55(1): p. 309 - 325.

5. Alden B.Carpenter. *Origin and chemical evolution of brines in sedimentary basins. SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas*. 1 - 3 October 1978.

6. L.K.Zherebtsova, N.N.Volkova. *Experimental study of the behavior of trace elements in the process of natural solar evaporation of Black Sea water and Sasyk-Sivash brine. Geochemistry International*. 1966; 3(4): p. 656 - 670.

7. M.A.McCaffrey, B.Lazar, H.D.Holland. *The evaporation path of seawater and the coprecipitation of Br and K^+ with halite*. Journal of Sedimentary Petrology. 1987; 57(5): p. 928 - 937.

8. Chunfang Cai, Stephen G.Franks, Per Aagaard. *Origin and migration of brines from Paleozoic strata in Central Tarim, China: constraints from $^{87}Sr/^{86}Sr$, δD, $\delta_{18}O$ and water chemistry*. Applied Geochemistry. 2001; 16: p. 1269 - 1284.

9. M.L.Davisson, R.E.Criss. *Na-Ca-Cl relations in basinal brines*. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1996; 60: p. 2743 - 2752 .

10. S.A.Gleeson, J.J.Wilkinson, F.M.Stuart, D.A.Banks. *The origin and evolution of base metal mineralising brines and hydrothermal fluids, South Cornwall, UK*. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2001; 65(13): p. 2067 - 2079.

11. Thomas M.Johnson, Donald J.DePaolo. *Rapid exchange effects on isotope ratios in groundwater systems: 2. Flow investigation using Sr isotope ratios*. Water Resources Research. 1997; 33(1): p. 197 - 209.

12. Ján Veizera, Dieter Buhl, Andreas Diener, Stefan Ebneth, Olaf G Podlaha, Peter Bruckschen, Torsten Jasper, Christoph Korte, Michael Scha, Davin Ala, Karem Azmy. *Strontium isotope stratigraphy: potential resolution and event correlation*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1997; 132(1 - 4): p. 65 - 77.

Using geochemical method to determine the migration of formation water

Kieu Anh Trung[1], Nguyen Minh Quy[1], Le Thi Thu Huong[1]
Truong Van Dung[1], Vu Viet Hung[2], Hoang Long[1]
[1]Vietnam Petroleum Institute
[2]Petrovietnam Exploration Corporation (PVEP)
Email: trungka.epc@vpi.pvn.vn

Summary

The paper presents a method using geochemical characteristics to evaluate and determine the migration of formation water. The chemical composition of water will provide the information about the source of salinity and the rock-water interaction of formation water during deposition and migration. The isotopic ratio of $^{87}Sr/^{86}Sr$ is also used to distinguish the sedimentary strata and the origin of formation water, based on which the migration of formation water will be evaluated. A case study with formation water from the basement reservoir of an oil field in Cuu Long basin has been conducted by application of the presented method, enabling prediction as well as better monitoring of water flooding in the field, which contributes to improving oil and gas production efficiency.

Key words: *Formation water, source, isotope, basement, Cuu Long basin.*