

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐỒNG VỊ BỀN ($\delta^{18}\text{O}$ VÀ $\delta^2\text{H}$) VÀ CÂN BẰNG TỶ SỐ ĐỒNG VỊ CỦA $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ĐỂ XÁC ĐỊNH NGUỒN GỐC NƯỚC ĐỐI TƯỢNG MÓNG NÚT NẸ TRONG KHAI THÁC DẦU KHÍ

KS. Lương Văn Huấn¹, ThS. Lê Thị Thu Hương¹, ThS. Hoàng Long¹
ThS. Nguyễn Minh Quý¹, KS. Võ Thị Tường Hạnh²

¹Viện Dầu khí Việt Nam

²Trung tâm Chiếu xạ Hà Nội - Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

Tóm tắt

Bài báo trình bày các kết quả phân tích thực nghiệm, các nghiên cứu đánh giá và xác định nguồn gốc nước trong móng nút nẻ dựa trên thành phần đồng vị bền trong nước khai thác (^{18}O , ^2H) kết hợp tỷ số các đồng vị phóng xạ tự nhiên ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$); oxy, hydro trong nước, đá vụn khoan (cutting sample) và các thành phần hóa học hòa tan trong nước. Kết quả phân tích thành phần địa hóa và đồng vị ($\delta^{18}\text{O}$ và $\delta^2\text{H}$) giúp xác định nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa, sự chiếm ưu thế của nước vỉa trong nước khai thác tại các giếng trong tầng móng nút nẻ. Dựa trên các kết quả phân tích tỷ số đồng vị strontium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, nghiên cứu đã chứng minh sự tương đồng giữa đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong nước khai thác và đá trầm tích tại đối tượng Miocen, từ đó có thể xác định tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ phân tích trong đá vụn khoan Oligocen là đặc trưng và đại diện cho đối tượng này. Từ các kết quả nghiên cứu đã xây dựng, đánh giá mối tương quan của tỷ số đồng vị tự nhiên $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ đặc trưng cho cả ba đối tượng (Miocen, Oligocen, móng nút nẻ) và xác định được nguồn gốc nước tại móng nút nẻ, khả năng dịch chuyển từ vùng đập nát từ Oligocen xuống tầng móng. Các kết quả nghiên cứu cũng góp phần đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp đồng vị trong xác định nguồn gốc nước khai thác trong các mỏ dầu khí nhằm tối ưu bơm ép, tối ưu khai thác để gia tăng hệ số thu hồi dầu.

Từ khóa: Đồng vị bền, tỷ số đồng vị tự nhiên, nguồn gốc nước khai thác, móng nút nẻ.

1. Giới thiệu

Việc sử dụng phương pháp phân tích thành phần hóa học của các ion hòa tan trong nước khai thác để đánh giá nguồn gốc nước trong mỏ dầu khí thường gặp nhiều khó khăn do việc phối trộn và tương tác địa hóa trong vỉa chứa diễn ra rất phức tạp và khó dự đoán dẫn đến nhiều sai số trong phương pháp xác định. Do đó phương pháp phân tích các đồng vị và tính toán các tỷ số giữa các đồng vị trong nước cũng như sự tương đồng các nguyên tố đồng vị trong đá - nước vỉa thường được sử dụng như là thông số có độ tin cậy cao trong việc đánh giá và xác định nguồn gốc nước và xác định khả năng dịch chuyển của các nguồn nước vào đối tượng móng nút nẻ. Các đồng vị được sử dụng phổ biến trên thế giới trong lĩnh vực địa hóa và áp dụng trong việc xác định nguồn gốc nước vỉa, đánh giá hiệu quả/ảnh hưởng của nước bơm ép giúp tính toán tối ưu bơm ép nước và chế độ khai thác nhằm gia tăng sản lượng khai thác. Các phân tích ^{18}O , deuterium (^2H hoặc D), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cho độ chính xác rất cao.

Hầu hết các mỏ dầu khí đang khai thác tại Việt Nam đều sử dụng phương pháp bơm ép nước vào mỏ để duy trì áp suất vỉa và gia tăng sản lượng khai thác dầu. Thông

thường, việc bơm ép nước được thực hiện khi áp suất vỉa sụt giảm hoặc khi trữ lượng dầu tại chỗ đến giai đoạn cạn kiệt. Do đó, động thái dịch chuyển của nước phải luôn được theo dõi chặt chẽ và tính toán tối ưu để tăng cường hiệu quả bơm ép, tránh hiện tượng chảy sườn, nước bơm ép dịch chuyển thẳng từ giếng bơm ép đến giếng khai thác gây ngập nước tức thời làm giảm hệ số quét của quá trình bơm ép nước. Ngoài ra, do nước dịch chuyển quá nhanh trong vỉa gây nên hiện tượng chia cắt thân dầu của vỉa chứa với giếng khai thác trong các đối tượng khai thác chính của mỏ. Với các giếng khai thác đa tầng, hoặc giếng thân trần ở đối tượng đá móng nút nẻ, khi xảy ra hiện tượng ngập nước do bơm ép hoặc do nước đáy dâng tự nhiên thì việc xác định mức độ đóng góp/phối trộn của nước vỉa trong nước khai thác trong từng giếng khai thác đóng vai trò hết sức quan trọng và sẽ quyết định các biện pháp xử lý giếng (chẳng hạn các biện pháp ngăn cách nước bằng hóa học hoặc thủy động lực học, hủy một số khoảng khai thác bên dưới, rút thân lên nóc móng) để hạn chế ngập nước, tối ưu bơm ép, tối ưu khai thác.

Khi áp suất vỉa được duy trì do có sự cung cấp năng lượng từ các nguồn nước thành hệ thì vị trí, khả năng dịch chuyển của nguồn nước thành hệ là các số liệu đầu vào rất

quan trọng cho mô hình địa chất và mô hình công nghệ mỏ để có thể dự báo và đưa ra các phương án khai thác hợp lý. Vấn đề xác định đặc điểm, mức độ đóng góp, vị trí và thể tích của các nguồn nước thành hệ trong các mỏ dầu khí là một công việc phức tạp. Ngoài phương pháp đồng vị phóng xạ thì hiện nay chưa có phương pháp nào áp dụng có hiệu quả và cho độ chính xác cao. Một trở ngại lớn thường gây khó khăn cho việc đánh giá nguồn gốc nước khai thác chính là vấn đề pha trộn của các nguồn nước trong nước khai thác. Thông thường nước chỉ xuất hiện trong giếng khai thác sau một thời gian nhất định khi tiến hành quá trình khai thác, thường là sau một số năm khai thác. Lúc này, nhiều nguồn nước đã được cung cấp vào giếng khai thác gồm các loại như nước bơm ép, các nguồn nước từ thành hệ, nước phân tách từ dịch khoan mất trong quá trình khoan. Kết quả phân tích thành phần hóa học nước khai thác thường có thành phần biến đổi rất phức tạp do sự pha trộn và tương tác với đất đã tiếp tục diễn ra chưa đạt được trạng thái ổn định và bão hòa nên rất khó có thể đánh giá được đặc điểm và nguồn gốc nước trong vỉa.

Mục tiêu của nghiên cứu là xác định nguồn gốc của tầng chứa nước vỉa tại móng nứt nẻ và hướng dòng chảy vào trong tầng móng Tây Nam mỏ Sư Tử Đen. Nghiên cứu này được giải quyết dựa trên việc lấy mẫu vụn khoan tầng Miocen, Oligocen và móng kết hợp đồng thời lấy mẫu nước vỉa, nước khai thác trong các tầng vỉa chứa trong một thời gian đủ dài với số liệu phân tích đủ lớn nhằm mục đích đánh giá thống kê hạn chế sai số trong tính toán tỷ lệ và sai số phân tích thành phần đồng vị, đảm bảo yêu cầu mẫu phân tích phải đạt trạng thái cân bằng của đồng vị (tỷ lệ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ là một chỉ số quan trọng nhất) giữa nước vỉa và tầng đá chứa. Do đó, việc tìm hiểu bản chất nguyên thủy của nước trước khi nạp vào móng nứt nẻ bằng các chỉ tiêu hóa học và đồng vị kết hợp với dấu vết tương tác nước - đá bằng việc so sánh cân bằng đồng vị bền ($\delta^{18}\text{O}$ và $\delta^2\text{H}$), kết hợp với các tính toán tỷ số đồng vị tự nhiên $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ có thể giúp tìm ra những luận chứng cần thiết để đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra.

2. Phân tích các đồng vị trong nước khai thác, trong đá chứa của các đối tượng nghiên cứu

2.1. Xác định tỷ lệ đồng vị $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ và $^2\text{H}/^1\text{H}$ trong mẫu nước

Các nguồn nước (trên bề mặt, nước ngầm...) có các thành phần đồng vị đặc trưng do các thay đổi thành phần đồng vị so với nguồn nước ban đầu. Thông thường càng vào sâu đất liền, nước mưa càng nghèo thành phần đồng vị nặng (^2H và ^{18}O) so với nước đại dương. Ngoài ra, khác

với các nguồn nước ngầm do lượng nước mưa hình thành, nước ngầm không tham gia vào chu trình thủy văn nên thành phần đồng vị nặng của loại nước này sẽ giàu hơn so với nước biển (nước bơm ép).

Đồng vị ^2H (D) và ^{18}O có trong nước đại dương với hàm lượng cỡ 310ppm và 1.990ppm ở dạng các phân tử HDO và H_2^{18}O [6]. Sự thay đổi hàm lượng của các đồng vị trên trong nước tự nhiên thường được xác định bằng biểu thức tính delta (δ) như sau:

$$\delta = \frac{R_s - R_{Std}}{R_{Std}} \times 1.000$$

Với R_s là tỷ số đồng vị D/H hoặc $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ của mẫu phân tích và R_{Std} là tỷ số đồng vị D/H hoặc $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ của mẫu chuẩn, giá trị delta δ thường được biểu diễn bằng đơn vị ‰.

Hai mẫu chuẩn đã được thừa nhận là phổ biến nhất đối với D và O - 18 là SMOW (Standard Mean Ocean Water) và VIENNA-SMOW (V-SMOW). SMOW là mẫu nước có tính chất giả thiết mà tỷ số đồng vị của hydro và oxy gần với tỷ số đồng vị trung bình của nước đại dương. V-SMOW là mẫu chuẩn với hàm lượng ^{18}O giống như trong mẫu SMOW còn hàm lượng D thấp hơn 0,2‰ so với SMOW. Do đó trong quá trình thực nghiệm, V-SMOW và SMOW được coi như nhau vì độ chính xác của các phép đo thường là 1‰ và 0,1‰ đối với D và ^{18}O tương ứng. Trong nghiên cứu này xác định tỷ số đồng vị $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ và $^2\text{H}/^1\text{H}$ trong mẫu nước bằng phương pháp nhiệt phân nước sử dụng kỹ thuật ChromeHD và phân tích trên khối phổ kế.

2.2. Xác định tỷ số đồng vị strontium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Tỷ lệ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ là chỉ số đặc trưng trong khảo sát địa chất - địa hóa. Tỷ lệ này trong khoáng vật và trong các



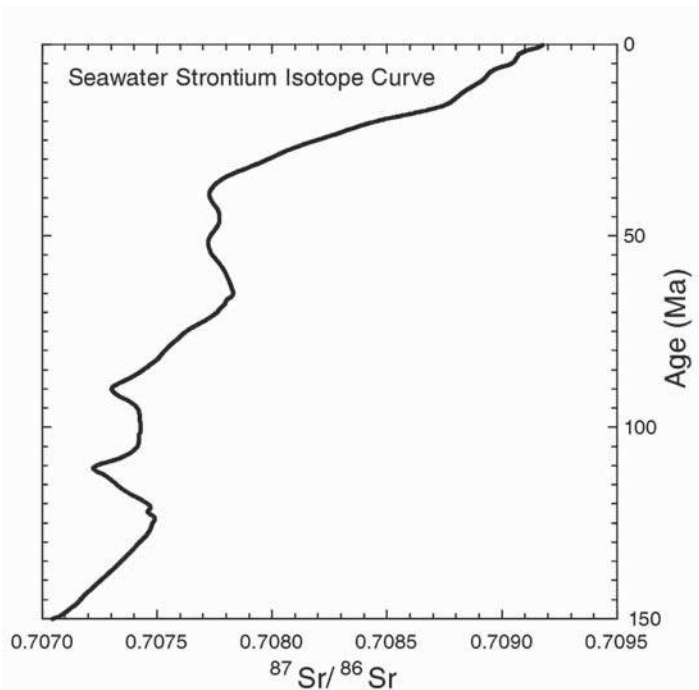
Hệ phân tích khối phổ kế ion hóa nhiệt (TIMS)

đá dao động từ 0,700000 đến trên 4,000000. Trong nước biển ngày nay, tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ thường rất thấp vì không có nguồn cung cấp đồng vị ^{87}Sr . Đồng vị ^{87}Sr là sản phẩm phân rã của ^{87}Rb , có chu kỳ bán rã $4,88 \times 10^{10}$ năm, một đồng vị tương tự kaliium và có khả năng thay thế kaliium trong mạng tinh thể các khoáng vật carbonate, sulfate hoặc feldspar gốc. Cũng tương tự như ^{87}Rb , "nguyên tử nóng" ^{87}Sr tạo ra sau phân rã có khả năng thay thế Ca, Ba trong mạng tinh thể các khoáng vật carbonate, sulfate và feldspar gốc. Trong đá kiến tạo thành phần ^{87}Rb thường cao do vậy hàm lượng ^{87}Sr cũng cao, do đó tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong nước cổ (nước nguyên sinh) tại các tầng dầu - khí cũng sẽ cao hơn so với nước bơm ép từ nước biển bề mặt. Dựa vào mối tương quan giữa tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ và tổng hàm lượng ion strontium hòa tan trong nước được sử dụng để nhận biết nguồn gốc nước cổ hay nước bơm ép. Đặc biệt trong đá móng nứt nẻ, đồng vị ^{87}Sr là sản phẩm phân rã của ^{87}Rb có sự liên quan trực tiếp tới quá trình địa hóa kaliium, do đó tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ đặc trưng cho các quá trình địa hóa và tuổi của đá chứa. Còn trong trầm tích Oligocen và Miocen: tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong các hạt đá nền giống với đá gốc; trong khi tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong các liên kết (chủ yếu là carbonate thứ sinh) cân bằng với tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong nước vỉa.

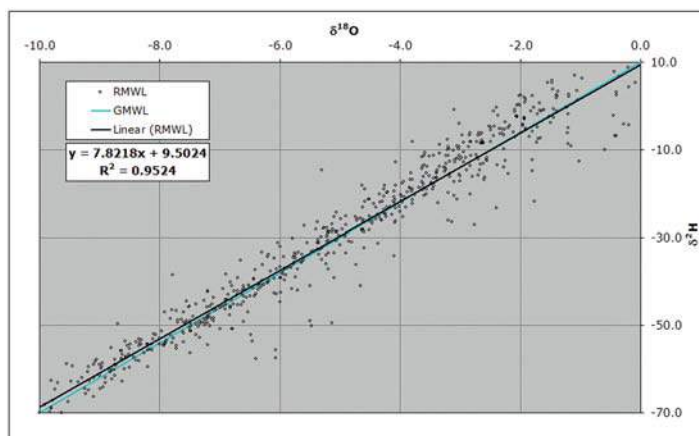
Quy trình phân tích được thực hiện qua các giai đoạn: Quy trình rửa và làm sạch lọ phân tích và quy trình phá mẫu (hòa tan) để phân tích trên hệ Khối phổ kế ion hóa nhiệt (Thermal Ionization Mass Spectrometry).

2.3. Địa tầng đồng vị strontium

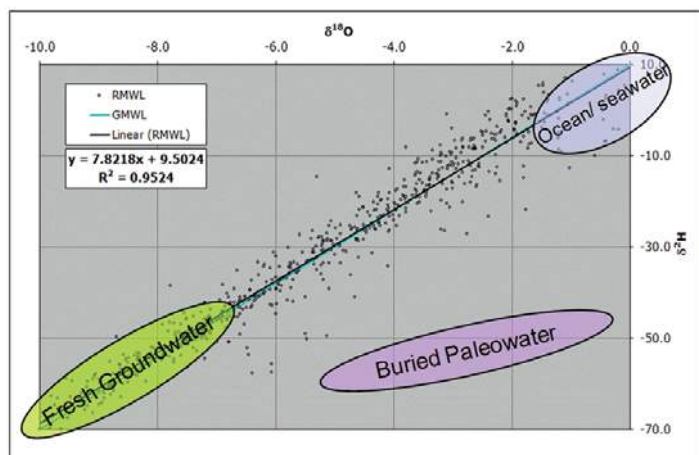
Do tốc độ tuần hoàn của đại dương tương đối ngắn (< 1.000 năm) và thời gian tồn tại của strontium trong môi trường đại dương lại dài (2 - 4 triệu năm) nên tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong nước biển đồng dạng trên toàn cầu. Trên cơ sở đó thiết lập đường cong địa tầng đồng vị Strontium theo thời gian địa chất (Strontium Isotope Stratigraphy - SIS), đường cong SIS được xây dựng dựa vào tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong carbonate biển vì nồng độ hòa tan strontium đứng thứ 9 trong nước biển, giống calcite nên nó có thể thay thế calcite trong mạng tinh thể calcite. Ngoài ra, strontium không phân rã trong suốt quá trình carbonate, vì vậy khi strontium kết tủa trong carbonate biển, tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong carbonate phản ánh trực tiếp thành phần nước biển theo thời gian địa chất tương ứng.



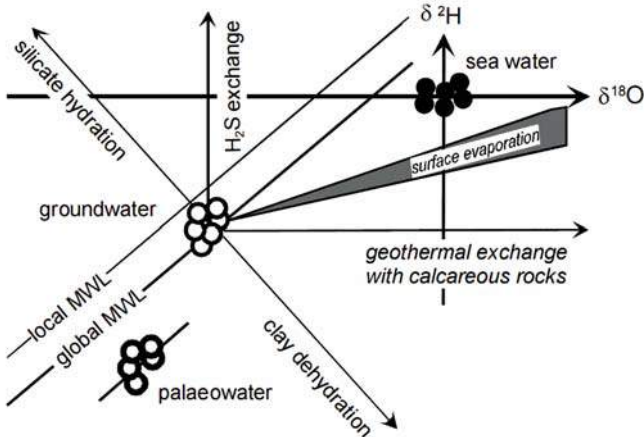
Hình 1. Đường cong địa tầng đồng vị strontium của nước biển [4]



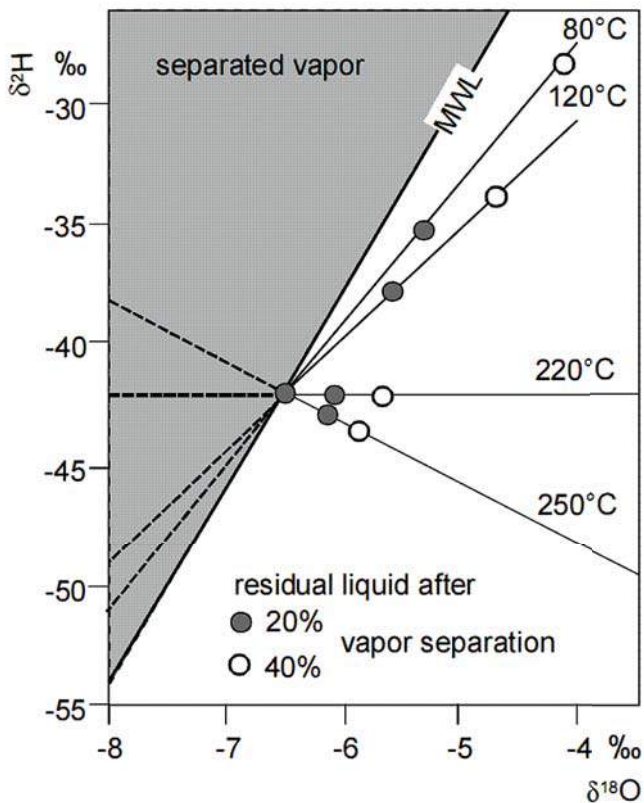
Hình 2. Giản đồ GMWL ($\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$) và RMWL tính toán từ số liệu thu thập của các vùng biển Đông Nam Á



Hình 3. Giản đồ phân bố $\delta^{18}\text{O}$ và $\delta^2\text{H}$ của các vùng đặc trưng của nước ngầm, nước biển và nước cổ trong mối quan hệ với đường nước ngưng tụ hiện tại



Hình 4. Các quá trình tương tác nước-đá với sự thay đổi tỷ lệ các đồng vị $\delta^{18}O$ và δ^2H so với đường nước khí tượng MWL [2]



Hình 5. Tỷ lệ đồng vị $\delta^{18}O$ và δ^2H so với đường MWL do sự thoát hơi nước ở các nhiệt độ cao khác nhau [2]

Đường cong SIS của nước biển từ 150 triệu năm thể hiện trên Hình 1.

3. Kết quả nghiên cứu và biện luận

3.1. Nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa

Dựa vào thành phần hóa học và các kết quả phân tích đồng vị bền $\delta^{18}O$ và δ^2H có thể phân biệt nguồn gốc nước vỉa ở các cấu tạo sâu có nhiệt độ cao. Thông thường, nước ở các cấu tạo sâu có thể là hỗn hợp của các loại nước sau [2]:

- Nước andezite: là nước biển tuần hoàn có nguồn gốc từ các vùng có các hoạt động núi lửa andezite hoặc núi lửa mảng hội tụ. Giá trị $\delta^{18}O$ và δ^2H lần lượt là $+10 \pm 2$ và $+20 \pm 10$ ‰, trong khi nồng độ chlorine lại tương tự như nước biển;

- Nước nguyên sinh: nước từ tầng Manti hoặc nhân trái đất, không có mặt trong vòng tuần hoàn của thủy quyển;

- Nước magma là loại nước nằm cân bằng với magma, có nguồn gốc từ magma nhưng không tan trong magma;

- Nước khí tượng là nước có nguồn gốc từ mưa, tuyết, băng, nước sông, nước hồ và nước ngầm;

- Nước đại dương và nước biển: nước biển xâm nhập vào các cấu trúc địa chất sâu.

Nước andezite, nước nguyên sinh và nước magma (đôi khi được gọi là “nước kiến tạo”) có sự khác biệt lớn với nước biển và nước ngưng tụ bởi sự thành phần hóa học (SiO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Li^+ , K^+ , CO_3^{2-} , S^{2-} , Cl^- , F^- ...) và đồng vị ($\delta^{18}O$ và δ^2H). Những loại nước này thường chứa nhiều silica hòa tan và các hợp chất bay hơi; có tỷ lệ đồng vị $\delta^{18}O$ dương ($> +2$ ‰) do tồn tại quá trình trao đổi hoặc cân bằng đồng vị ^{18}O với đá gốc.

Nước khí tượng có thành phần $\delta^{18}O$ và δ^2H tuân theo đường MWL (Meteoric Water Line hoặc đường Craig), đường cong MWL được xây dựng cho toàn cầu (Global

Bảng 1. Kết quả phân tích thành phần của nước vỉa Miocen

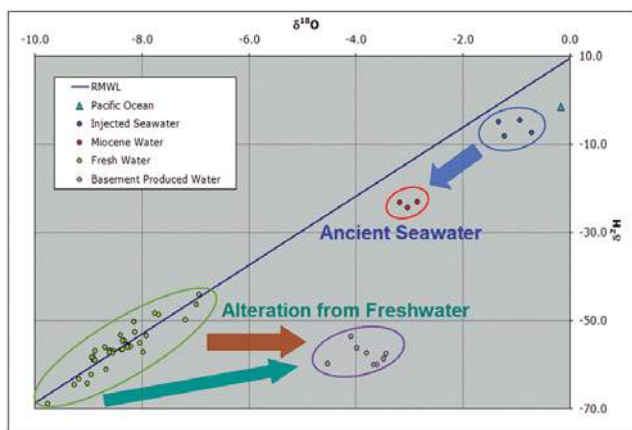
Giếng	Ngày lấy mẫu	Cl (‰)	Br (mg/l)	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ (‰)	δ^2H_{V-SMOW} (‰)
SD-10P	25/8/2010	30,17	79,2		
SD-10P	13/10/2010	28,06	70,5		
SD-11P	18/7/2010	30,09		-3,03	-24,48
SD-20P	05/07/2010	29,65		-3,18	-23,30
SD-27P	18/07/2010	29,87		-2,85	-23,07

Meteric Water Line) và cho từng vùng (Regional Meteric Water Line) [3]. Hình 2 biểu diễn đường cong nước khí tượng trên toàn cầu và vùng Đông Nam Á.

$$GMWL: \delta^2H = 8 \times \delta^{18}O + 10$$

Bảng 2. Hàm lượng chlorine và tỷ lệ đồng vị trong nước ở tầng móng

Giếng	Ngày lấy mẫu	Cl ⁻ (‰)	$\delta^{18}O_{vsmow}$ (‰)	δ^2H_{vsmow} (‰)
SD-3P	18/7/2009	10,19	-3,43	-57,52
SD-4PST	18/7/2009	12,42	-4,09	-53,61
SD-5PST	3/7/2009	9,43	-4,52	-59,76
SD-6P	3/7/2009	19,19	-3,98	-56,30
SD-7P	18/7/2009	13,03	-3,79	-57,37
SD-18P	3/7/2009	11,48	-3,48	-58,70
SD-19P	3/7/2009	10,58	-3,61	-60,07
SD-22P	18/7/2009	10,47	-3,66	-59,92



Hình 6. Giản đồ biểu diễn tỷ lệ đồng vị $\delta^{18}O$ và δ^2H trong nước vỉa Miocen Tây Nam mỏ Sứ Tử Đen và dự đoán nguồn gốc nguyên thủy

Đường cong nước khí tượng cho từng vùng (RMWL) được tính toán từ số liệu tập hợp trên khu vực biển Đông Nam Á. Đường RMWL thường khác với đường GMWL do ảnh hưởng chủ yếu của nhiệt độ, khí hậu từng vùng, từng miền.

Hình 3 chỉ ra các vị trí điển hình của nước ngầm hiện tại, nước biển và nước cổ trong mối quan hệ với đường nước khí tượng. Trong các tầng chứa nước ngầm, đồng vị 2H và ^{18}O thường có nồng độ tương đương với nước bề mặt của khu vực đó. Vì vậy, đồng vị 2H và ^{18}O của nước ngầm hiện tại được vẽ theo đường RMWL. Đồng vị 2H và ^{18}O của nước biển ít thay đổi từ đường cong nước khí tượng MWL tới các vị trí có thành phần đồng vị nặng hơn (2H và ^{18}O); và dễ dàng nhận biết bằng việc so sánh độ mặn Cl, Br và tỷ lệ đồng vị $\delta^{18}O$. Nước cổ bị chôn vùi và trải qua quá trình dài tương tác với đá trầm tích (Hình 4) hay quá trình bay hơi nước ở nhiệt độ cao (Hình 5), do đó tỷ lệ các đồng vị $\delta^{18}O$ và δ^2H nằm xa đường nước khí tượng MWL ban đầu. Kết quả phân tích nước vỉa, đá vụn khoan của Miocen và Oligocen mỏ Sứ Tử Đen đã chứng minh không có sự xuất hiện của nước kiến tạo và bản chất nước mỏ Sứ Tử Đen chỉ có thể liên quan tới nước biển và/hoặc nước khí tượng.

Các kết quả phân tích đặc trưng địa hóa và đồng vị của nước vỉa Miocen được đưa ra trong Bảng 1. Các mẫu nước vỉa Miocen có độ mặn cao tương tự nhau mặc dù được lấy ở các giếng và các thời điểm khác nhau. Ngoài ra, những mẫu nước này còn có mối liên hệ mật thiết với nhau về thành phần chlorine, bromine và cao hơn nước biển. Các giá trị $\delta^{18}O$ và δ^2H của nước vỉa Miocen thấp hơn so với đường RMWL (Hình 6) và tương đồng với nước biển hiện tại. Tuy nhiên, các giá trị này thấp hơn so với nước

Bảng 3. Kết quả phân tích tỷ số $^{87}Sr/^{86}Sr$ trong các mẫu nước

TT	Vỉa	Giếng	Thời gian lấy mẫu	$^{87}Sr/^{86}Sr$	Sr (mg/l)	Cl (‰)
1	Miocen hạ	SD-11P	18/7/2010	0,707571	3,39	30,09
2	Miocen hạ	SD-20P	5/7/2010	0,707554	3,27	29,65
3	Miocen hạ	SD-27P	18/7/2010	0,707610	3,02	29,87
4	Móng	SD-3P	18/7/2010	0,706884	9,65	10,19
5	Móng	SD-4PST	18/7/2010	0,706845	10,24	12,42
6	Móng	SD-5PST	3/7/2010	0,706900	8,21	9,43
7	Móng	SD-6P	3/7/2010	0,706833	7,87	19,19
8	Móng	SD-7P	18/7/2010	0,706901	8,67	13,03
9	Móng	SD-18P	3/7/2010	0,706865	7,84	11,48
10	Móng	SD-19P	3/7/2010	0,706839	8,63	10,58
11	Móng	SD-22P	18/7/2010	0,706901	7,38	10,47

Bảng 4. Kết quả phân tích tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của mẫu vụn khoan Miocen và Oligocen (trong đá và trong dung dịch chiết từ đá chứa)

Vĩa	Giếng	Độ sâu (mTVD)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (mẫu vụn khoan)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (phần dung dịch)	Ghi chú
Miocen	SD-26P	1722	0,7112537	0,7076215	Vĩa B10/ BH
Miocen	SD-26P	1723	0,7113246	0,7075875	Vĩa B10/ BH
Miocen	SD-26P	1725	0,7111897	0,7075817	Vĩa B10/ BH
Miocen	SD-27P	1720	0,7108979	0,7107257	Tup núi lửa Oil Zone/ Miocen
Miocen	SD-27P	1721	0,7112812	0,7105179	Tup núi lửa Oil Zone/ Miocen
Oligocen	SD-4P	2228	0,7108124	0,7088826	C30
Oligocen	SD-4P	2237	0,7105152	0,7088822	C30
Oligocen	SD-4P	2246	0,7114355	0,7091526	C30
Oligocen	SD-1X	2162	0,7107647	0,7085093	C30
Oligocen	SD-1X	2171	0,7105561	0,708493	C30

biển và cao hơn rất nhiều so với nước ngọt. Với những lập luận trên, có thể kết luận nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa Miocen là nước biển cổ.

Các kết quả phân tích đồng vị ^{18}O và ^2H trong các mẫu nước khai thác ở tầng móng (Hình 6 và Bảng 2) cho thấy một hình ảnh đặc trưng của nước ngầm cổ (Hình 3 và 6). Các mẫu nước khai thác ở tầng móng có giá trị $\delta^2\text{H}$ đặc trưng của nước ngọt, có giá trị $\delta^{18}\text{O}$ gần với nước biển song thành phần chlorine lại thấp hơn nhiều so nước biển. Những dấu hiệu này chỉ ra rằng nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa ở tầng móng là nước khí tượng, đã trải qua các quá trình biến đổi đồng vị bởi sự tương tác nhiệt với trầm tích (thể hiện ở mũi tên màu nâu trong Hình 6) và/hoặc quá trình tách hơi nước dưới nhiệt độ cao (mũi tên màu xanh trong Hình 6). Kết luận về nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa tầng móng phù hợp với nghiên cứu trước đây về nước khai thác từ mỏ Sư Tử Đen.

3.2. Sự cân bằng của đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong nước khai thác - đá chứa và các nghiên cứu đánh giá nguồn gốc nước của móng nứt nẻ

Kết quả phân tích đồng vị và thành phần hóa học của các mẫu nước khai thác và mẫu đá vụn (cutting sample) đối tượng Miocen, Oligocen và móng được đưa ra trong Bảng 3 và 4.

Các kết quả phân tích tỷ số đồng vị strontium của các mẫu nước khai thác hoặc nước vỉa từ tầng móng phía Tây Nam và tầng Miocen thể hiện trong Bảng 3. Mặc dù các mẫu nước được lấy từ nhiều giếng khác nhau, tỷ số

đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của nước vỉa ở tầng móng là tương tự nhau và dao động trong khoảng 0,7068 - 0,7069. Ba mẫu nước vỉa Miocen cũng có tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ gần nhau nằm trong khoảng 0,7075 - 0,7076. Rõ ràng tầng Miocen và tầng móng có sự khác biệt rõ ràng về tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong các mẫu nước tương ứng.

Các kết quả phân tích tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cho thấy sự cân bằng của đồng vị strontium giữa nước vỉa Miocen và dung dịch ngậm chiết từ đá bột kết từ tập B10 Miocen. Trong phần trước, chúng ta đã kết luận nguồn gốc nước biển là của nước vỉa Miocen. Nguồn gốc nguyên thủy này có biểu hiện strontium đặc trưng và tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ có thể đoán được. Theo các nghiên cứu trước đây về các tương đá trầm tích, các trầm tích hạt vụn Miocen được hình thành trong môi trường biển. Nước vỉa, được tách ra từ các trầm tích này, có thể có tuổi Miocen hoặc tuổi địa chất muộn hơn. Do đó, tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ban đầu của nước vỉa Miocen có thể được dự đoán bằng cách tra cứu theo đường cong SIS (địa tầng đồng vị strontium) và giá trị dự đoán phải lớn hơn 0,7082.

Giá trị của tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của nước vỉa Miocen xấp xỉ 0,7076, nếu tra cứu theo đường SIS, sẽ xác định được tuổi Kainozoi muộn tới tuổi Paleogen khoảng 75 triệu năm: điều này không thể xảy ra vì đây là thời kỳ bào mòn trong khu vực nghiên cứu này. Do đó, tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong khoảng 0,7075 - 0,7076 của nước vỉa Miocen rõ ràng được kiểm soát bởi sự cân bằng với pha rắn trong các khe nứt và xi măng của trầm tích hạt vụn Miocen, chúng có tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ xấp xỉ 0,7076 tương tự với tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong các dung dịch ngậm chiết.

Bảng 5. Kết quả phân tích tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của mẫu vụn khoan tập D và tập E Oligocen (trong đá và trong dung dịch chiết từ đá chứa)

Via	Giếng	Độ sâu lấy mẫu (m)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (dung dịch)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (vụn khoan)
D10	SD-3X	2.310 - 2.315	0,70731	0,71074
D10	SD-4P	2.440 - 2.450	0,70915	0,71144
D35	SD-1X	2.640 - 2.650	0,70739	0,71162
D80	SD-1X	2.929 - 2.930	0,70763	0,71087

Giếng	Loại đá	Độ sâu lấy mẫu (m)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (dung dịch)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (vụn khoan)
SD-9I	Sandstone	3.270 - 3.280	0,70688	0,71095
SD-9I	Sandstone	3.320 - 3.325	0,70732	0,70880
SD-6X	Siltstone	3.160 - 3.170	0,70722	0,70798
SD-16I	Siltstone	3.770 - 3.775	0,70643	0,70791

Cũng có hai mẫu được lấy từ nóc của tập B10 Miocen của giếng 27P và được mô tả là đá tuff núi lửa (tuf) trong báo cáo phân tích thạch học, dung dịch ngâm chiết của chúng có sự khác biệt lớn về tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ so với tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của các dung dịch ngâm chiết từ mẫu bột kết của tập B10 Miocen. Đá tuff núi lửa, nếu thực sự tồn tại ở nóc B10 Miocen, có thể là những thân quạt dạng thấu kính và hầu như không có tương tác với nước vỉa và góp phần vào sự cân bằng đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Cũng có thể là những mẫu này không điển hình cho trầm tích hạt vụn Miocen như trong mô tả ở báo cáo thạch học giếng 27P.

Tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của Miocen trong Bảng 3 và 4 cũng đã chứng minh sự cân bằng trong nước khai thác và đá vỉa là tương đồng, điều này có nghĩa là tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ phân tích trong mẫu vụn khoan của Oligocen tập D, tập E là đại diện cho đối tượng Oligocen.

Tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của tất cả mẫu cặn của các đá trầm tích của Miocen và Oligocen đều cao hơn tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của nước biển (giá trị cao nhất khoảng 0,7091 đối với nước biển hiện nay) và thể hiện sự khác biệt lớn với các giá trị tương ứng trong dung dịch ngâm chiết. Các giá trị này của dung dịch ngâm chiết nằm dưới khoảng giá trị của nước biển. Những khác biệt này cho thấy bản chất của strontium trong phần cặn: tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của mẫu cặn các đá trầm tích thường cao vì chúng được thừa hưởng từ đá gốc có tuổi cao hơn và có đồng vị ^{87}Sr là sản phẩm sau thời gian dài phân rã ^{87}Rb .

Các thành phần cặn, chủ yếu là các hạt nền rắn, bị ngăn cách hoặc tiếp xúc hạn chế các chất lưu trong lỗ rỗng, nên chúng được xem như là không có tương tác với nước vỉa, cũng như những ảnh hưởng tới tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của nước vỉa. Hơn nữa, các hạt trầm tích còn lại sau các quá trình phong hóa, xói mòn và vận chuyển từ các đá gốc ở cách xa thường bền về mặt hóa học và có rất ít tương tác với nước chưa bị tác động.

Tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong các mẫu nước khai thác từ tầng móng, nằm trong khoảng 0,7068 - 0,7069, rất thấp và khác hẳn các mẫu vụn khoan Oligocen và Miocen. Những kết quả này loại trừ khả năng trầm tích Oligocen là tầng ngậm nước tiềm năng cho nước vỉa thuộc tầng móng. Theo các nghiên cứu đã chỉ ra ở phần trước nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa thuộc phần Tây Nam móng mỏ Sư Tử Đen là nước ngọt. Loại nước nguồn gốc này chứa rất ít strontium. Ví dụ, nồng độ strontium trong nước sông điển hình vào khoảng 0,6mg/l; trong nước ngầm tuần hoàn vào khoảng 1mg/l. Tuy nhiên, tất cả các mẫu nước tầng móng được phân tích có nồng độ strontium lớn hơn nước biển (là 0,8mg/l): những kết quả này đã góp phần làm rõ nồng độ strontium trong nước vỉa ở tầng móng được đóng góp từ việc hòa tan đá gốc của tầng ngậm nước hoặc dọc theo dòng chảy. Các quá trình hòa tan này đảm bảo tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ trong nước vỉa là sự phản ánh của tỷ số đó của tầng đá gốc ngậm nước. So sánh các kết quả phân tích $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của móng (0,7063 - 0,7078); tập E (0,7068 - 0,7073); tập D (0,7073 - 0,7091) cho thấy nước vỉa trong nước khai thác của các giếng đang khai thác tại tầng móng chủ yếu là nước phối trộn giữa nước vỉa của móng và nước từ tập E - Oligocen chảy vào móng qua vùng đập nát phía Tây của cấu trúc vỉa.

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu phân tích đồng vị ($\delta^{18}\text{O}$ và $\delta^2\text{H}$) giúp xác định nguồn gốc nguyên thủy của nước vỉa Tây Nam mỏ Sư Tử Đen: nước vỉa Miocen có nguồn gốc là nước biển cổ; nước vỉa tầng móng có nguồn gốc từ nước ngọt. Các kết quả phân tích tỷ số đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ chứng minh sự tồn tại của cân bằng đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ giữa nước vỉa và trầm tích Miocen.

Các mẫu nước ở tầng móng có hàm lượng Sr cao (~8 - 10mg/l), trong khi nguồn gốc nguyên thủy (nước ngọt) thường có thành phần Sr thấp (< 1mg/l). Kết quả này đã chỉ ra Sr được đóng góp từ đá của tầng chứa nước. So sánh các kết quả phân tích $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ của móng (0,7063 - 0,7078); tập E (0,7068 - 0,7073); tập D (0,7073 - 0,7091) cho thấy nước vỉa trong nước khai thác của các giếng đang khai

thác tại tầng móng chủ yếu là nước phối trộn giữa nước vỉa của móng và nước từ tập E - Oligocen chảy vào móng qua vùng đập nát phía Tây của cấu trúc vỉa.

Tài liệu tham khảo

1. Cuu Long JOC. *Báo cáo phát triển mỏ Sư Tử Đen và Sư Tử Vàng*. 2007.
2. *Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and applications*. Edited by W.G.Mook. UNESCO. International Hydrological Programme (UNESCO-IHP) & International Atomic Energy Agency (IAEA), Paris. 2001.
3. I.D.Clark, Peter Fritz. *Environmental isotopes in hydrogeology*. New York, Lewis Publishers. 1997: 352 pages.
4. R.J.Howarth, J.M.McArthur. *Statistics for strontri isotope stratigraphy: A robust lowess fit to the marine Sr-Isotope curve for 0 to 206Ma, with look-up table for derivation of numeric age*. Journal of Geology. 1997; 105: p. 441 - 456.
5. J.M.McArthur, R.J.Howarth, T.R.Bailey. *Strontium isotope stratigraphy: Lowess version 3: Best fit to the marine Sr-Isotope curve for 0 - 509Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age*. Journal of Geology. 2001; 109: p.155 - 170.
6. D.R.Payne. *Guidebook on nuclear techniques in hydrology*. Technical reports series No.91 IAEA, Vienna. 1983.

Application of stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$ và $\delta^2\text{H}$) analysis and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ equilibrium to determine the source of produced water in the oil field

Luong Van Huan¹, Le Thi Thu Huong¹, Hoang Long¹
 Nguyen Minh Quy¹, Vo Thi Tuong Hanh²

¹Vietnam Petroleum Institute

²Hanoi Irradiation Centre - Vietnam Atomic Energy Institute

Summary

This data report presents all the analytical results, extracting the primeval signatures of Lower Miocene formation water and basement reservoir water, as well as confirming the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratio equilibrium between Lower Miocene formation water and clastic rocks of Lower Miocene reservoir. The obtained results have assured the method applicability, and it should be recommended to continue the further lab works of environmental isotope analysis as proposed to identify where the formation water of Su Tu Den South West basement reservoir comes from and obtain the information about its flow path.

Key words: Stable isotope, isotope ratio, source of produced water, fractured basement.