

## TỐI ƯU MÔ HÌNH TÍNH ĐỘ BẢO HÒA NƯỚC CHO TẦNG CHỨA MIOCENE, KHU VỰC ĐÔNG BẮC BỂ CỬU LONG, VIỆT NAM

**Nguyễn Văn Hoàng, Hoàng Việt Bách, Nguyễn Trung Dũng, Lê Trung Tâm, Trần Văn Hà, Hoàng Thị Thu Trang**

Tổng công ty Thẩm dò Khai thác Dầu khí

Email: hoangnv@pvep.com.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2021.07-02>

### Tóm tắt

Độ bảo hòa nước ( $S_w$ ) là thông số vữa quan trọng cần xác định để xây dựng mô hình địa chất, mô hình khai thác và tính toán trữ lượng. Một số mô hình xác định thông số  $S_w$  cho kết quả không phù hợp hoặc khác biệt rất lớn so với thông số  $S_w$  xác định từ mẫu lõi. Mục tiêu của nghiên cứu nhằm xác định mô hình tính toán độ bảo hòa nước tối ưu nhất cho các vỉa chứa tầng Miocene phía Đông Bắc bể trầm tích Cửu Long, Việt Nam. Các tài liệu giếng khoan được sử dụng cho các mô hình gồm tài liệu địa vật lý giếng khoan (wireline logging) được kết hợp với tài liệu địa chất, mẫu lõi để hiệu chỉnh kết quả tính hàm lượng sét, độ rỗng và cuối cùng là độ bảo hòa nước áp dụng cho cùng các thông số đầu vào liên quan như mật độ xương đá, mật độ dung dịch khoan, điện trở vữa sét, điện trở dung dịch... cho các mô hình. Tầng chứa Miocene gồm các tập cát kết xen kẹp với các vỉa sét (shale). Bản chất của các tập sét này là kết quả lắng đọng của khoáng vật sét (clay) và sét bột (silt) trong môi trường năng lượng thấp. Khoáng vật sét là thành phần chủ yếu với kích thước hạt rất nhỏ nên sức căng bề mặt lớn, có khả năng bắt giữ các phân tử nước trên bề mặt (water-bound) chứa các cation. Như vậy, độ dẫn điện hay điện trở suất sẽ được đóng góp chủ yếu bởi 2 thành phần là điện trở suất của nước vữa ( $R_w$ ) và điện trở suất của nước trên bề mặt sét ( $R_{wb}$ ). Kết quả tính toán độ bảo hòa nước tại tầng Miocene cho thấy độ bảo hòa nước tính bằng mô hình Dual-water có giá trị tiệm cận nhất với giá trị độ bảo hòa nước ban đầu trong vỉa ( $S_{wi}$ ) so với kết quả của các mô hình Simandoux, Indonesia và mô hình Archie. Từ cách tiếp cận trên, kết quả của nghiên cứu này có thể áp dụng cho minh giải tầng chứa Miocene ở phía Đông Bắc bể Cửu Long, Việt Nam.

**Từ khóa:** Độ bảo hòa nước, mô hình Dual-water, mô hình Simandoux, mô hình Indonesia, Miocene, bể Cửu Long.

### Giới thiệu

Bể Cửu Long có nhiều mỏ nhỏ, cận biên nên trữ lượng dầu khí của mỏ phải được tính toán chính xác để bảo đảm hiệu quả kinh tế cho nhà đầu tư. Giá trị độ bảo hòa nước  $S_w$  là thông số đầu vào cho mô hình động và mô hình tĩnh, từ đó tính trữ lượng tại chỗ của cấu tạo để đưa ra mô hình khai thác, dự báo sản lượng khai thác cho mỏ.

Công thức Archie hay mô hình tính độ bảo hòa nước Archie [1] dựa vào mối quan hệ giữa đường cong điện trở suất nước vữa, điện trở suất thực và độ rỗng thành hệ. Tuy nhiên, đây là mô hình cát sạch, không đề cập tới sự hiện diện của sét. Do hạt sét nhỏ có sức căng bề mặt lớn nên có thể hấp phụ các phân tử nước chứa các cation. Các cation cũng là một kênh dẫn điện, góp phần làm giảm điện trở

suất thực, ảnh hưởng tới kết quả của độ bảo hòa nước, hay chính xác hơn là làm tăng giá trị độ bảo hòa nước và làm mất đi vữa sản phẩm. Hiểu rõ ảnh hưởng của sét lên độ dẫn điện hay điện trở suất của đất đá [2], các mô hình tính độ bảo hòa nước dựa trên công thức Archie lần lượt ra đời để hiệu chỉnh ảnh hưởng của sét như công thức Simandoux, Waxman-Smith (Waxman và Smith, 1968), Indonesia (Poupon và Leveaux 1971), Dual-water [3], Schlumberger (Schlumberger, 1989).

Trong tập trầm tích Miocene ở bể Cửu Long nói chung và khu vực Đông Bắc bể nói riêng có các tầng chứa sản phẩm dầu khí quan trọng với đặc điểm chung về địa chất là được thành tạo trong môi trường biển nông ven bờ hình thành các lớp cát sét xen kẹp, có độ rỗng tương đối tốt từ 18 - 20% tại các tập cát kết. Tuy nhiên, điện trở suất thực tế các vỉa chứa dầu khí ở các giếng khoan chủ yếu rất thấp, chỉ khoảng từ 1 - 5 Ohm.m. Như vậy, sự hiện diện của sét ở các vỉa chứa có thể là nguyên nhân gây ra điện trở suất



Ngày nhận bài: 8/3/2021. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 8 - 30/3/2021.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 1/7/2021.

thấp, ảnh hưởng trực tiếp lên kết quả tính độ bão hòa nước tại các vỉa chứa sản phẩm trong Miocene.

Với việc so sánh kết quả độ bão hòa nước từ nghiên cứu mẫu lõi và tính toán từ các mô hình tính độ bão hòa nước để chọn ra mô hình tối ưu nhất cho các tập chứa trong Miocene phía Đông Bắc bể Cửu Long. Qua nghiên cứu này cho thấy kết quả tính toán độ bão hòa nước bằng mô hình Dual-water có ít sai số nhất so với kết quả của mẫu lõi.

## 2. Các mô hình tính độ bão hòa nước

### 2.1. Mô hình cát sạch (Clean sand formation)

Archie [1] thực hiện nghiên cứu thực nghiệm với một số lượng lớn mẫu lõi (core) bão hòa nước được lấy từ nhiều thành hệ cát sạch khác nhau tại Gulf Coast. Độ rỗng của mẫu lõi thay đổi từ 10 - 40% với độ khoáng hóa từ 20 - 100 kppm, sau đó ông xây dựng mối quan hệ giữa độ rỗng và độ khoáng hóa với đá bão hòa nước 100% như sau:

$$R_o = F \times R_w = \frac{a}{\phi^m} \quad (1)$$

Trong đó:

F: Hệ số thành hệ;

$R_o$ : Điện trở suất đất đá bão hòa 100% nước (Ohm.m);

$R_w$ : Điện trở suất nước vỉa (Ohm.m);

a: Hệ số mao dẫn;

m: Hệ số gắn kết xi măng.

Archie dẫn chứng một số nghiên cứu của Martin, Jakosky, Wyckoff và Leverett về sự thay đổi của điện trở do sự thay đổi của tỷ lệ nước trong vỉa. Sau khi quan sát sự thay đổi của điện trở do sự thay đổi của tỷ phần nước trong mẫu lõi, Archie biểu diễn mối quan hệ giữa độ tỷ phần nước  $S_w$  và điện trở trên đồ thị Logarit. Công thức tính độ bão hòa nước được biểu diễn như sau:

$$S_w^n = \frac{a \times R_w}{\phi^m \times R_t} \quad (2)$$

Trong đó:

n: Hệ số mũ bão hòa nước;

$R_t$ : Điện trở suất thực của vỉa (Ohm.m);

$S_w$ : Độ bão hòa nước vỉa.

### 2.2. Một số mô hình hiệu chỉnh ảnh hưởng của sét

Trên thực tế, các vỉa chứa dầu khí bắt gặp trong

giếng khoan không có vỉa cát sạch 100% mà có sự tồn tại của thành phần sét [3]. Hình 1 cho thấy nếu thành hệ là cát sạch thì đường xu thế có điểm xuất phát từ giá trị  $C_o = 0$ , nhưng với thành hệ cát sét xen kẽ thì giá trị độ dẫn sẽ không phải là đường thẳng tuyến tính xuất phát tại điểm 0. Chứng tỏ sự thay đổi này do ảnh hưởng của sét.

Kết quả trên Hình 1 đã cho thấy trong các vỉa chứa điển hình không thể tồn tại cát sạch 100% mà bao giờ cũng xen lẫn sét. Vì thế, độ dẫn của vỉa chứa thực tế sẽ là:

$$C_o = \frac{C_w}{F} + C_{excess} \quad (3)$$

Trong đó:

$C_o$ : Độ dẫn đất đá bão hòa 100% nước, (Ohm.m<sup>-1</sup>);  $C_o = \frac{1}{R_o}$

$C_w$ : Độ dẫn của nước vỉa, (Ohm.m<sup>-1</sup>);  $C_w = \frac{1}{R_w}$

Từ công thức (3) có thể giải thích [4] thành phần sét kết gồm bột sét và các hạt sét có kích thước rất mịn có khả năng bắt giữ các phân tử nước chứa các cation (Hình 2). Như vậy, trong không gian rỗng của sét tồn tại vật dẫn ion và chất điện phân. Một ranh giới chung hay mặt phân cách Helmholtz xuất hiện. Các ion trên bề mặt của sét như là Mg, Ca, Na... có thể trao đổi với với các cation khác. Sự trao đổi cation có thể đo được trong phòng thí nghiệm và được gọi là CEC (cation exchange capacity), đơn vị của phép đo này là meq/cc,  $Q_v$  [5 - 7].

$$Q_v = \frac{CEC \times \rho(1 - \phi_t)}{\phi_t} \quad (4)$$

Trong đó:

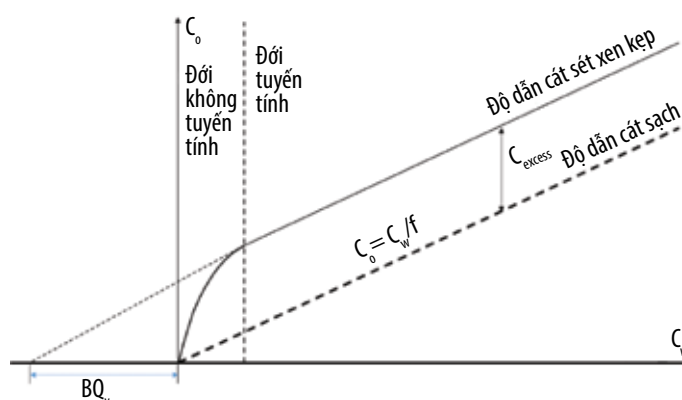
$Q_v$ : Tổng hàm lượng CEC trao đổi (meq/g);

CEC: Chỉ số trao đổi cation trong vỉa;

$\rho$ : Mật độ đất đá (g/cc);

$\phi_t$ : Độ rỗng tổng đất đá.

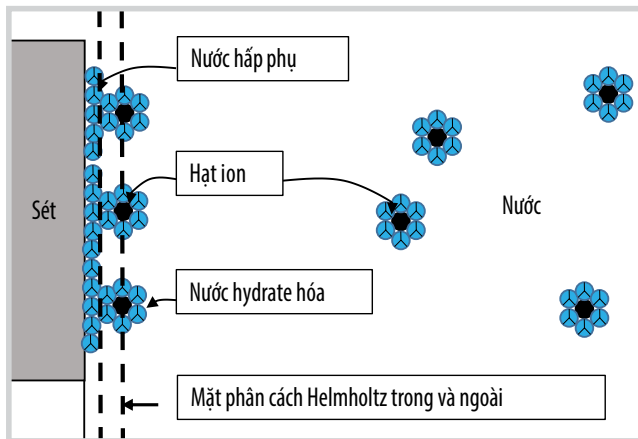
Một thành hệ sét có tổng khối lượng trao đổi cation là  $Q_v$  chứa trong không gian rỗng.



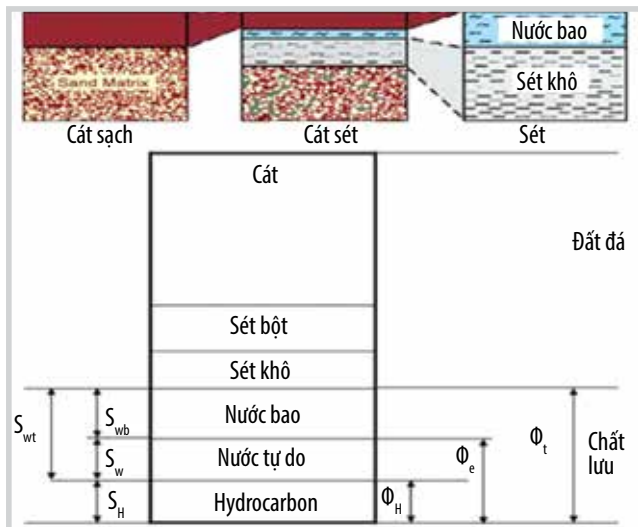
Hình 1. Biểu diễn độ dẫn của cát sạch và cát sét xen kẽ [4].

Bảng 1. Đặc điểm vật lý của các loại sét

Loại sét	CEC (meq/g)	$\Phi_{CNC}$	$\rho$ (g/cc)	Thành phần cation	K (%)	U (%)	Th (ppm)
Montmorillonite	0,8 - 1,5	0,24	2,45	Ca, Mg, Fe	0,16	2 - 5	14 - 24
Illite	0,1 - 0,4	0,24	2,65	K, Mg, Fe, Ti	4,5	1,5	< 2
Chlorite	0 - 0,1	0,51	2,8	Mg, Fe	-	-	-
Kaolinite	0,03 - 0,06	0,36	2,65	-	0,42	1,5 - 3	6 - 19



Hình 2. Mô hình trao đổi ion trên bề mặt sét [3].



Hình 3. Mô hình biểu diễn thành phần đất đá.

Đặc điểm về khả năng trao đổi cation của các loại sét như montmorillonite, illite, kaolinite, chlorite như Bảng 1.

CEC là một thông số được sử dụng cho mô hình Waxman-Smith và Dual-water. Thông số CEC không thể xác định trực tiếp bằng các đường cong địa vật lý giếng khoan mà phải đo trực tiếp trên mẫu lõi. Theo Clavier, Coates và Dumanoir [3] định nghĩa không gian lỗ rỗng tổng ( $\Phi_t$ ) của thành hệ có thể chứa nước liên kết, nước tự do và dầu khí (Hình 3). Nước liên kết hiện diện trên bề mặt của khoáng vật sét, còn nước tự do tồn tại trong các không gian rỗng liên thông của thành hệ ( $\Phi_e$ ). Sự hiện

diện của 2 loại nước này ảnh hưởng tới điện trở suất của thành hệ.

Theo mô hình trên độ rỗng hiệu dụng cho sét là:

$$\Phi_e = \Phi_t \times (1 - S_{wb}) \quad (5)$$

Với  $\Phi_e$ : Độ rỗng hiệu dụng;  $S_{wb}$ : Độ bão hòa nước bao.

Trong khi đó độ rỗng hiệu dụng biểu diễn theo tỷ phần sét là:

$$\Phi_e = \Phi_t - \Phi_{wb} \times V_{cl} \quad (6)$$

Trong đó:  $\Phi_{wb}$ : Độ rỗng sét bao;  $V_{cl}$ : Tỷ phần sét.

Kết hợp công thức (5) và (6) khi đó độ bão hòa nước bao là:

$$S_{wb} = \frac{V_{cl} \times \Phi_{wb}}{\Phi_t} \quad (7)$$

Mặt khác, theo định nghĩa độ rỗng  $\Phi_t$  là tỷ phần của thể tích không gian rỗng  $V_p$  chứa chất lưu trên tổng thể tích khối đá V:

$$\Phi_t = \frac{V_p}{V} \quad (8)$$

Theo Hình 2, đối với thành phần sét, độ rỗng của sét  $\Phi_{wb}$  sẽ là tỷ phần không gian rỗng chứa nước bao  $V_{wb}$  của sét trên tổng thể tích của khối đá:

$$\Phi_{wb} = \frac{V_{wb}}{V} = \frac{m_{wb}/\rho_{wb}}{V} \quad (9)$$

Trong đó:

$m_{wb}$ : Khối lượng của nước bao, đơn vị là g;

$\rho_{wb}$ : Mật độ nước bao, đơn vị là g/cm<sup>3</sup>, ở đây giả sử mật độ nước bao là 1.

Gọi  $W_s$  là tỷ số của khối lượng nước bao  $m_{wb}$  và khối lượng tổng khối đá  $m_G$ :

$$W_s = \frac{m_{wb}}{m_G} \quad (10)$$

Khi đó:

$$\frac{m_G}{V} = \frac{(1-V_p)\rho_G}{V} = \rho_G(1 - \Phi_t) \quad (11)$$

Kết hợp công thức (9) và (11):

$$\Phi_{wb} = W_s \rho_G (1 - \Phi_t) \quad (12)$$

Kết hợp công thức (2) và công thức (12):

$$\phi_{wb} = Q_v \phi_t \frac{W_s}{CEC} \quad (13)$$

Thực nghiệm của Hill, Shirley và Klein [8] chỉ ra tỷ số  $W_s$  tỷ lệ với chỉ số CEC và độ khoáng hóa của nước vỉa  $C_o$ :

$$W_s = (0,084\sqrt{C_o} + 0,22)CEC \quad (14)$$

Công thức (13) sẽ là:

$$\phi_{wb} = Q_v \phi_t (0,084\sqrt{C_o} + 0,22) \quad (15)$$

Các mô hình khác như mô hình Dual-water, Simandoux, Indonesia và Simandoux hiệu chỉnh được áp dụng để loại trừ ảnh hưởng của sét thông qua hiệu chỉnh ảnh hưởng của điện trở suất vỉa sét  $R_{sh}$ .

### 2.2.1. Mô hình Dual-water

Mô hình đề xuất độ dẫn diện do 2 loại nước có trong không gian rỗng của thành hệ, là loại nước trên bề mặt sét và loại nước tự do (Hình 2). Mô hình đã chỉ ra hàm lượng nước liên kết liên quan trực tiếp tới hàm lượng sét trong thành hệ, nghĩa là nếu chỉ số sét tăng thì hàm lượng nước liên kết cũng sẽ tăng.

Công thức mô hình Dual-water [3] biểu diễn như sau:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi_T^{m^*} \times S_{wT}^n}{a} \times \left( \frac{1}{R_w} + \frac{S_{wb}}{S_{wT}} \times \left( \frac{1}{R_{wb}} - \frac{1}{R_w} \right) \right) \quad (16)$$

Trong đó:

$$m^* = m_{input} + C_m(0,258 \times Y + 0,2 \times (1 - e^{-16,4 \times Y})) \quad (17)$$

$$Y = \frac{Q_v \times \phi_T}{1 - \phi_T} \quad (18)$$

$Q_v$  là giá trị không được xác định trực tiếp từ các đường điện trở mà chỉ được xác định dựa vào nghiên cứu mẫu lõi để tìm giá trị  $m^*$ . Giá trị CEC trong tầng chứa Miocene phía Đông Bắc bể Cửu Long đã được đo qua kết quả nghiên cứu một số mẫu lõi. Bài báo này đã sử dụng tài liệu các giếng khoan khu vực lân cận để thấy rõ giá trị  $m^*$  đặc trưng cho tầng chứa Miocene, từ đó có thể xác định điện trở suất của nước bao,  $R_{wb}$ .

### 2.2.2. Mô hình Simandoux

Mô hình Simandoux [2] dựa vào nghiên cứu thực nghiệm "hỗn hợp đồng nhất của cát có độ chọn lọc tốt và sét với tỷ lệ khác nhau". Sét và cát được trộn lẫn với nhau trong dung dịch  $CaCl_2$  để ngăn chặn sự trao đổi ion, Simandoux quan sát độ dẫn chỉ do thành phần sét và không

phụ thuộc vào hình dạng lỗ rỗng. Mục tiêu là nghiên cứu ảnh hưởng về thể tích khi giảm hàm lượng sét đến độ dẫn của xương đá và độ bão hòa nước trong vỉa.

Công thức mô hình Simandoux được biểu diễn như sau:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi^m \times S_w^n}{a \times R_w} + \frac{V_{sh} \times S_w}{R_{sh}} \quad (19)$$

Theo thực nghiệm, Simandoux chỉ thực nghiệm trên 4 mẫu với duy nhất 1 loại sét là montmorillonite và các mẫu có độ rỗng như nhau. Theo Bảng 1 thì các loại sét khác nhau sẽ có hàm lượng CEC khác nhau dẫn tới độ dẫn điện sẽ khác nhau. Mô hình Simandoux cũng được cho là không tốt khi độ rỗng nhỏ hơn 20%. Từ công thức (19), mức độ hiệu chỉnh do ảnh hưởng của sét lên mô hình Simandoux rất lớn, ảnh hưởng tới kết quả của mô hình tính.

### 2.2.3. Mô hình Simandoux hiệu chỉnh (Modified Simandoux)

Những vấn đề gặp phải trong mô hình Simandoux là chưa loại trừ ảnh hưởng của tỷ phần sét trong thành phần cát. Mô hình này do Schlumberger hiệu chỉnh dựa trên công thức (19) bằng cách thêm hiệu số  $1 - V_{sh}$  nhằm loại trừ ảnh hưởng của sét có trong thành phần cát.

Công thức mô hình Simandoux hiệu chỉnh được biểu diễn như sau:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\phi^m \times S_w^n}{a \times R_w \times (1 - V_{sh})} + \frac{V_{sh} \times S_w}{R_{sh}} \quad (20)$$

Công thức (20) của Schlumberger đã giải quyết vấn đề tranh cãi của mô hình Simandoux. Tuy vậy, phương trình này được đưa ra không phải dựa trên nghiên cứu thực nghiệm mà dựa vào sự hiệu chỉnh thiết bị đo địa vật lý giếng khoan.

### 2.2.4. Mô hình Indonesia

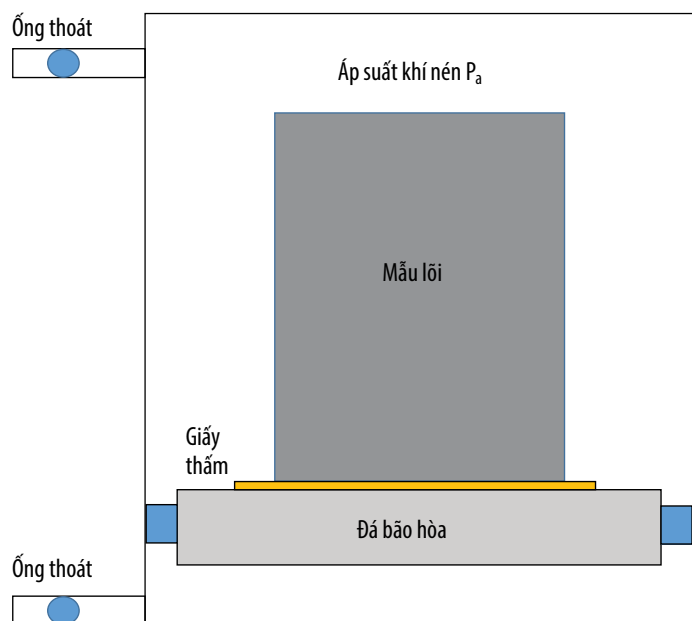
Mô hình được đề xuất bởi Poupon và Leveaux (1971) để hiệu chỉnh thành phần sét trong thành hệ chứa nước ngọt, đây là một dạng vỉa chứa rất điển hình ở Indonesia. Như vậy rõ ràng là mô hình này không phải được xây dựng trên thành hệ giống như thành hệ Miocene bể Cửu Long, Việt Nam. Tuy nhiên, phương pháp này cải tiến các hạn chế của mô hình Archie do đã hiệu chỉnh ảnh hưởng của  $R_{sh}$ .

Công thức mô hình Indonesia được biểu diễn như sau:

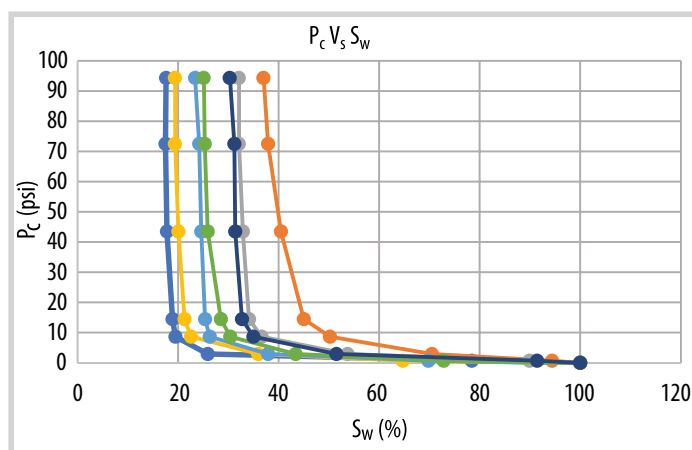
$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \left[ \frac{V_{cl} \left(1 - \frac{V_{sh}}{2}\right)}{\sqrt{R_{sh}}} + \frac{\phi^{m/2}}{\sqrt{a \times R_w}} \right] \times S_w^{n/2} \quad (21)$$

### 2.3. Xác định độ bão hòa nước dư $S_{wi}$ trong phòng thí nghiệm

Độ bão hòa nước dư là lượng nước không thoát ra khỏi thành hệ cứng như không di chuyển trong độ rỗng hiệu dụng của đất đá. Trong vỉa dầu sạch, sau khi lượng nước này chiếm chỗ thì phần không gian rỗng còn lại là dầu khí. Độ bão hòa nước dư được xác định bằng cách: (i) đo trong phòng thí



Hình 4. Mô hình khoang đo áp suất mao dẫn và độ bão hòa nước [9].



Hình 5. Độ bão hòa nước với các áp suất mao dẫn khác nhau.

nghiệm từ mẫu lõi hoặc dùng (ii) phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân (NMR/CMR) [9]. Trong bài báo này, nhóm tác giả chỉ đề cập đến xác định độ bão hòa nước dư bằng phương pháp đĩa bán thấm (porous plate). Phương pháp này xây dựng mối quan hệ giữa áp suất mao dẫn và độ bão hòa nước bằng cách đặt mẫu lõi đã bão hòa dung dịch NaCl lên đĩa bán thấm, sau đó nén áp suất  $P_a$  lên phía phần đỉnh của mẫu, nước chứa trong không gian lỗ rỗng của mẫu sẽ thoát ra ngoài (Hình 4). Áp suất mao dẫn  $P_c$  là áp suất chênh lệch giữa áp suất không khí và áp suất nước NaCl. Khi đạt được sự ổn định, áp suất khí nén  $P_a$  được bỏ, mẫu lõi sẽ được cân lại và xác định độ bão hòa nước ứng với áp suất mao dẫn  $P_c$ . Sau đó mẫu tiếp tục được thực hiện các thao tác trên với các áp suất cao hơn để xây dựng mối quan hệ giữa độ bão hòa nước và áp suất mao dẫn.

Bảng 2 thể hiện kết quả xác định độ bão hòa nước trong phòng thí nghiệm với dung dịch NaCl có độ khoáng hóa 50 g/l ở nhiệt độ 30 °C.

### 3. So sánh kết quả tính độ bão hòa nước cho tầng chứa Miocene, khu vực Đông Bắc bể Cửu Long

Ở khu vực Đông Bắc của bể Cửu Long, dầu khí được khai thác chủ yếu từ các đối tượng trong Miocene, Oligocene và đá móng. Hiện nay, sản lượng khai thác tại các mỏ chủ lực đã suy giảm đáng kể do đó cần thiết phải cập nhật lại trữ lượng để dự báo sản lượng khai thác cũng như có kế hoạch tối ưu cho tương lai. Một trong những thông số quan trọng để tính toán trữ lượng dầu khí là độ bão hòa nước đối với tầng chứa Miocene.

Các thành tạo địa chất trong Miocene được lắng đọng trong môi trường tam giác châu (deltaic plain) tới tương biển nông với những cát kết dày xen kẽ với những lớp sét từ mỏng tới dày. Đặc biệt, trong thành hệ tuổi Miocene có tập sét Bạch Hồ chứa trùng

Bảng 2. Kết quả độ bão hòa nước trong phòng thí nghiệm

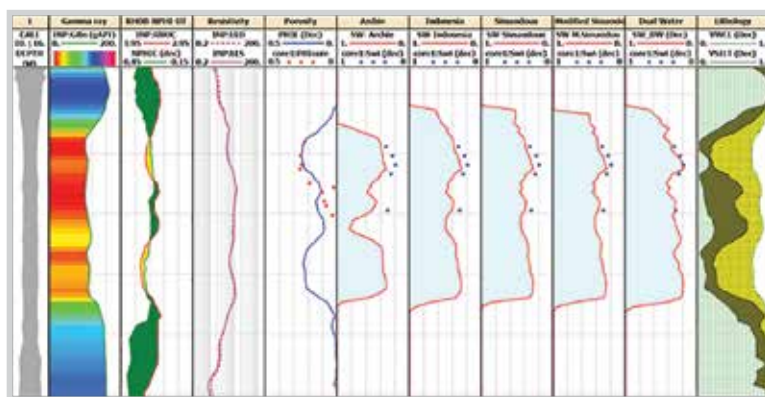
Mẫu	Độ sâu	Độ bão hòa nước ( $S_w$ ) ở các áp suất mao dẫn ( $P_c$ ) khác nhau (psi)							
		0	0,73	2,9	8,7	14,5	43,5	72,5	94,3
1	XX1	100	78,4	25,9	19,5	18,9	17,8	17,5	17,6
2	XX2	100	94,4	70,5	50,2	45	40,5	37,9	37
3	XX3	100	89,9	53,7	36,6	34,1	32,9	32,1	32,1
4	XX4	100	64,7	35,9	22,6	21,3	20,1	19,4	19,4
5	XX5	100	69,8	37,9	26,3	25,4	24,6	24,2	23,4
6	XX6	100	72,8	43,4	30,4	28,5	25,9	25,3	25,1
7	XX7	100	91,4	51,5	35	32,7	31,4	31,2	30,3

**Bảng 3.** Bảng thành phần khoáng vật sét

Độ sâu (m)	Kaolinite (%)	Chlorite (%)	Illite (%)	Smectite (%)	Illite - Smectite (%)
XX87	9	5	43	15,5	27,5
XX98	15,5	14,5	26	9	35
XX87,3	0	7,5	77	0	15,5
XX96,2	0	1	97	0	2

**Bảng 4.** Các thông số tính độ bão hòa nước

Mật độ xương đá ( $\rho_{ma}$ )	2,65	$g/cm^3$
a	1	
m	1,95	
n	1,78	
$R_w$	0,17	Ohm.m
$R_{sh}$	1,5	Ohm.m
$R_{wb}$	0,08	Ohm.m
CEC	1,6	meq/g



**Hình 6.** So sánh kết quả  $S_w$  của các mô hình với độ bão hòa  $S_w$  của mẫu lõi.

**Bảng 5.** So sánh  $S_w$  của các mô hình với độ bão hòa  $S_w$  của mẫu lõi

$S_{wi}$ mẫu lõi (dec)	$S_w$ (dec)				
	Archie	Indonesia	Simandoux	Modified Simandoux	Dual-water
0,321	0,394	0,382	0,383	0,377	0,365
0,234	0,366	0,329	0,334	0,315	0,282
0,194	0,342	0,291	0,294	0,27	0,197
0,251	0,397	0,37	0,372	0,364	0,346
0,303	0,514	0,411	0,395	0,372	0,305

lỗ Rotalia điển hình trải gần như rộng khắp rất đặc trưng cho bể Cửu Long. Dựa vào phân tích XRD, thành phần sét illite chiếm khoảng 40 - 97%, smectite 9 - 16% và các thành phần khác (Bảng 3). Như vậy, sét trong tầng chứa Miocene có thành phần chủ yếu là illite và smectite nên khả năng trao đổi ion rất tốt.

Nhóm tác giả đã áp dụng 5 mô hình tính độ bão hòa nước vỉa (mô hình Archie, Simandoux, Simandoux hiệu chỉnh, Indonesia và Dual-water) cho tầng chứa Miocene khu vực Đông Bắc của bể Cửu Long. Sau khi có được kết quả tính giá trị độ bão hòa nước theo các mô hình, nhóm tác giả so sánh độ bão hòa nước với độ bão hòa nước

đư  $S_{wi}$  được xác định từ mẫu lõi (bởi trong vỉa chứa dầu, chính giá trị  $S_{wi}$  phản ánh giá trị của độ bão hòa nước). Các thông số đặc tính vỉa để tính độ bão hòa nước cho các mô hình dựa vào Bảng 4.

Từ kết quả tính toán, cho thấy giá trị độ bão hòa nước theo mô hình Dual-water tiệm cận nhất với giá trị  $S_{wi}$  tính từ thực nghiệm mẫu lõi. Trong khi đó, độ bão hòa tính bằng mô hình Archie có giá trị cao nhất, tiếp theo là độ bão hòa tính bằng mô hình Indonesia, Simandoux và mô hình Simandoux hiệu chỉnh (Hình 6, Bảng 5) giá trị CEC của mẫu lõi.

**4. Kết luận và đề xuất**

Kết quả tính độ bão hòa nước cho thấy sai số của mô hình Archie là rất lớn, từ 90% trở lên, trong khi đó mô hình Dual-water thấp nhất với sai số từ 5 - 20%. Có thể hiểu rằng mô hình Archie dựa trên thực nghiệm của các mẫu cát sạch mà chưa tính tới sự ảnh hưởng của sét lên điện trở. Hiểu rõ bản chất dẫn điện của sét, các phương pháp như Simandoux, Simandoux hiệu chỉnh, Indonesia đã loại trừ ảnh hưởng của sét, tuy nhiên cách tiếp cận lại chưa phù hợp với đặc điểm của từng vùng. Mô hình Indonesia là mô hình được xây dựng ở vùng mỏ nước ngọt có độ khoáng hóa rất thấp, do đó với khu vực nước vỉa có độ khoáng hóa cao từ 28 - 36 kppm như ở tầng Miocene phía Đông Bắc bể Cửu Long chưa phù hợp. Trong khi đó do chưa đánh giá đúng thực tế là các loại sét khác nhau thì có độ dẫn điện khác nhau, Simandoux đã thực nghiệm xây dựng mối quan hệ giữa độ bão hòa nước và điện trở dựa trên trộn lẫn 1 loại sét montmoriolite và cát sạch; mặt khác, độ rỗng từ 20% trở lên mới phù hợp với phương pháp của Simandoux. Mô hình Simandoux hiệu chỉnh do Schlumberger phát triển chỉ dựa trên việc hiệu chỉnh các thiết bị của Schlumberger mà chưa có lý thuyết về thực nghiệm.

Tính độ bão hòa nước bằng mô hình Dual-water cho kết quả tiệm cận với kết quả thực nghiệm bằng mẫu lõi nhất, tuy nhiên rất khó khăn để xác định CEC bởi giá trị này phải đo bằng mẫu lõi. Nhóm tác giả đề xuất việc chọn một vỉa sét sạch, đủ dày để xây dựng biểu đồ

Pickett và từ đó xác định giá trị  $R_{wb}$ . Với cách làm này,  $R_{wb}$  xác định từ biểu đồ Pickett tương đương với giá trị  $R_{wb}$  tính từ giá trị CEC của mẫu lõi.

### Tài liệu tham khảo

[1] G.E. Archie, "The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics", *Transactions of the AIME*, Vol. 146, No. 1, pp. 54 - 62, 1942. DOI: 10.2118/942054-G.

[2] Jethro Sam-Marcus, Efeoghene Enaworu, Oluwatosin J. Rotimi, and Ifeanyi Steyeobot, "A proposed solution to the dermination of water saturation: Using a modelled equation", *Journal of Petroleum Exploraiton and Production Technology*, Vol. 8, pp. 1009 - 1015, 2018. DOI:10.1007/s13202-018-0453-4.

[3] C. Clavier, G. Coates, and J. Dumanoir, "Theoretical and experimental bases for the dual - water model for interpretation of shaly sands", *Society of Petroleum Engineers Journal*, Vol. 24, No. 2, pp. 153 - 168, 1984 . DOI: 10.2118/6859-PA.

[4] Hongyan Yu, Xiaolong Wei, Zhenliang Wang, Reza Rezaee, Yihuai Zang, Maxim Lebedev, and Stefan Iglauer, "Review of water saturation calculation methods in shale gas reservoir", *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Australia, 23 - 25 October 2018*. DOI: 10.2118/192115-MS.

[5] Liang Wang, Zhi-Qiang Mao, Zhong-Chun Sun, Xing-Ping Luo, Ren-Shuang Deng, Ya-Hui Zang, and Bing Ren, "Cation exchange capacity (Qv) estimation in

shaly sand reservoirs: Case studies in the Junggar basin, northwest China", *Journal of Geophysics and Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 745 - 752, 2015. DOI: 10.1088/1742-2132/12/5/745 .

[6] I. Juhasz, "Normalised Qv - The key to shaly sand evaluation using the Waxman-Smith equation in the absence of core data", *SPWLA 22nd Annual Logging Symposium, 23 - 26 June 1981*.

[7] K.A. Alfosail and A.U. Alkaabi, "Water saturation in shaly formation", *Middle East Oil Show and Conference, Bahrain, 15 - 18 March 1997*. DOI: 10.2118/37746-MS.

[8] H.J. Hill, G.E. Klein, O.J. Shirley, E.C. Thomas, and M.H. Waxman, "Bound water in shaly sand - its relation to Q and other formation properties", *The Log Analyst*, Vol. 20, No. 3, 1979.

[9] A.M. Attia, D. Fratta, and Z. Bassiouni, "Irreducible water saturation from capillary pressure and electrical resistivity measurement", *Oil & Gas Science and Technology*, Vol. 63, No. 2, pp. 203 - 217, 2008. DOI: 10.2516/ogst:2007066.

[10] D.C. Henrick and W.D. Kennedy, "On the quagmire of shaly sand saturation equation", *SPWLA 50<sup>th</sup> Annual Logging Symposium, The Woodlands, Texas, 21 - 24 June 2009*.

[11] I. Juhasz, "The central role of Qv and formation water salinity in the evaluation of shaly formations", *SPWLA 20<sup>th</sup> Annual Logging Symposium, Tulsa, Oklahoma, 3 - 6 June 1979*.

## OPTIMAL WATER SATURATION MODEL FOR MIOCENE RESERVOIRS IN THE NORTH-EASTERN PART OF CUU LONG BASIN, VIETNAM

**Nguyen Van Hoang, Hoang Viet Bach, Nguyen Trung Dung, Le Trung Tam, Tran Van Ha, Hoang Thi Thu Trang**

Petrovietnam Exploration Production Corporation

Email: hoangnv@pvep.com.vn

### Summary

The study aims at determining the most realistic water saturation models to be utilised for the Miocene sandstone reservoir in the northeastern part of the Cuu Long basin. The wireline logging, core analysis and geological data from the wells in the northeastern part and surrounding areas are used in full to estimate shale content, porosity, and water saturation. The obtained water saturation results have been subjected to a comparative study considering all the petrophysical parameters involved. In shaly zones, the dual-water model provides good values of water saturation compared to those obtained by others such as Archie, Simandoux, and Indonesian models. An approach of comparative study between different water saturation models was outlined and implemented. It is expected that the results of this study can be applied in log analysis for other Miocene reservoirs in the Cuu Long basin.

**Key words:** Water saturation ( $S_w$ ), Dual-water model, Simandoux model, Indonesian model, Miocene, Cuu Long basin.