

NGUYÊN NHÂN CHÍNH GÂY RA HIỆN TƯỢNG ĐIỆN TRỞ SUẤT THẤP VÀ MÔ HÌNH TÍNH TOÁN ĐỘ BÃO HÒA HYDROCARBON Ở CÁC TẦNG SẢN PHẨM TURBIDITE BỂ SÔNG HỒNG

ThS. Lê Trung Tâm

Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí

TS. Cù Minh Hoàng

Công ty TNHH MTV Điều hành Thăm dò Khai thác Dầu khí nước ngoài

Tóm tắt

Điện trở suất thấp trong các tầng chứa sản phẩm dầu khí là hiện tượng thường gặp trong lát cắt của các bể trầm tích trẻ, các trầm tích Miocen hạ của một số mỏ dầu khí đã phát hiện ở bể Cửu Long (Rồng, Tê Giác Trắng) hay tại khu vực nghiên cứu của bể Sông Hồng... Việc tính toán độ bão hòa trong các tầng chứa có điện trở suất thấp bằng phương pháp minh giải truyền thống rất khó khăn, nhiều khi sai số lớn, dẫn đến khả năng bỏ sót các vỉa sản phẩm.

Bài viết trình bày kết quả nghiên cứu các nguyên nhân chính gây ra hiện tượng điện trở suất thấp ở các tầng sản phẩm trên cơ sở tổng hợp và phân tích các tài liệu địa chất, địa vật lý giếng khoan, Mudlog, phân tích lát mỏng thạch học... tại bể Sông Hồng. Đồng thời, nhóm tác giả cũng đưa ra cách tiếp cận mới khi minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan bằng phương pháp siêu âm và so sánh hiệu quả với phương pháp minh giải truyền thống.

1. Mở đầu

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu được công bố, song do đặc điểm địa chất của từng mỏ rất khác nhau nên hiện tượng điện trở suất thấp trong các tầng chứa sản phẩm cũng không mang tính quy luật. Thực tế tại một số mỏ, tài

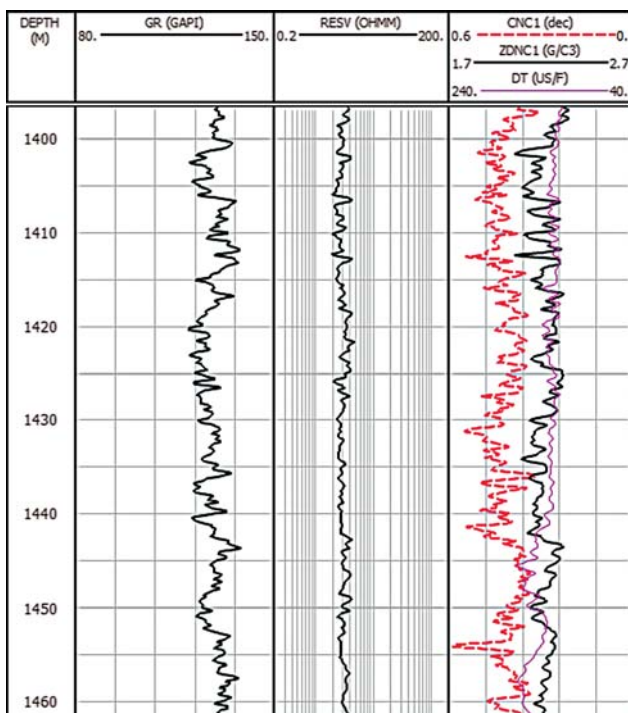
liệu địa vật lý giếng khoan được minh giải theo phương pháp truyền thống là cơ sở để tiến hành bắn thử vỉa vào các đối tượng được cho là chứa dầu khí, nhưng kết quả gặp nước hoặc cho dòng rất kém. Ngược lại, có một số đối tượng nghi ngờ chứa nước hoặc vỉa chặt sít có tính chất chứa kém thì khi thử vỉa lại gặp dòng dầu/khí có giá trị thương mại.

Đặc điểm bất đồng nhất cao, độ gắn kết yếu và điện trở suất thấp ($2 - 4\Omega$) của các tầng sản phẩm ở khu vực nghiên cứu đã gây nhiều khó khăn cho việc minh giải tài liệu và xác định các khoảng thử vỉa khi thi công các giếng khoan (Hình 1).

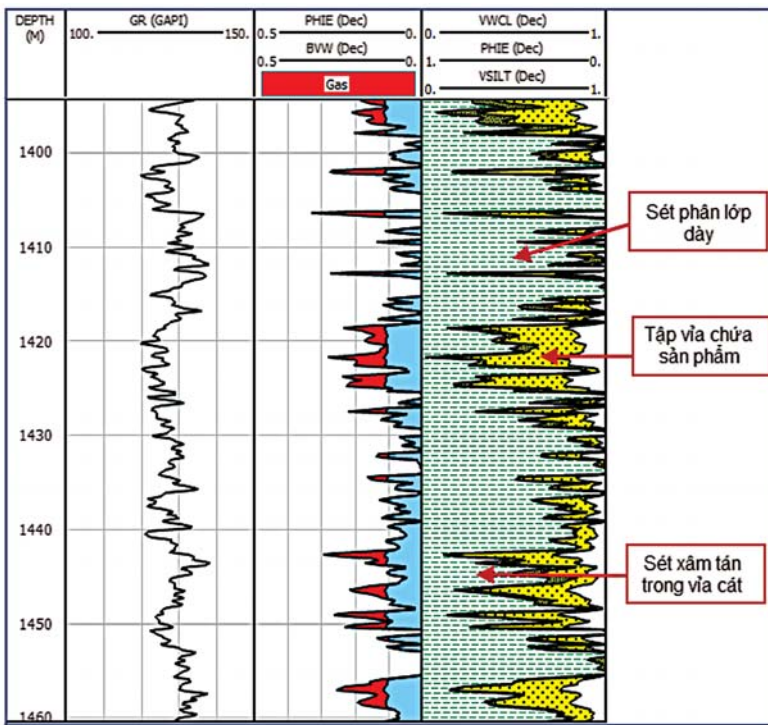
Do đó, muốn chính xác hóa các kết quả khi minh giải tài liệu, nâng cao độ chính xác của các phương pháp cần tìm hiểu chính xác nguyên nhân gây ra hiện tượng điện trở suất thấp, đồng thời cần có cách tiếp cận mới trong việc xây dựng các mô hình tính toán điện trở và độ bão hòa thích hợp với đặc điểm địa chất thực tế.

2. Nguyên nhân chính gây ra hiện tượng điện trở suất thấp

Hiện tượng điện trở suất thấp trong các tầng sản phẩm xảy ra do nhiều nguyên nhân. Sau khi tổng hợp, phân tích các tài liệu về khu vực nghiên cứu, nhóm tác giả đã xác định được 3 nguyên nhân chính gây ảnh hưởng đến giá trị điện trở suất thấp của đá chứa.



Hình 1. Tài liệu địa vật lý giếng khoan tại một mỏ ở bể Sông Hồng



Hình 2. Minh giải thạch học tầng sản phẩm giếng khoan thuộc khu vực nghiên cứu

Bảng 1. Đặc điểm bề mặt riêng, dung lượng hấp phụ cation và độ dày lớp điện kép (CEC) của một số loại sét

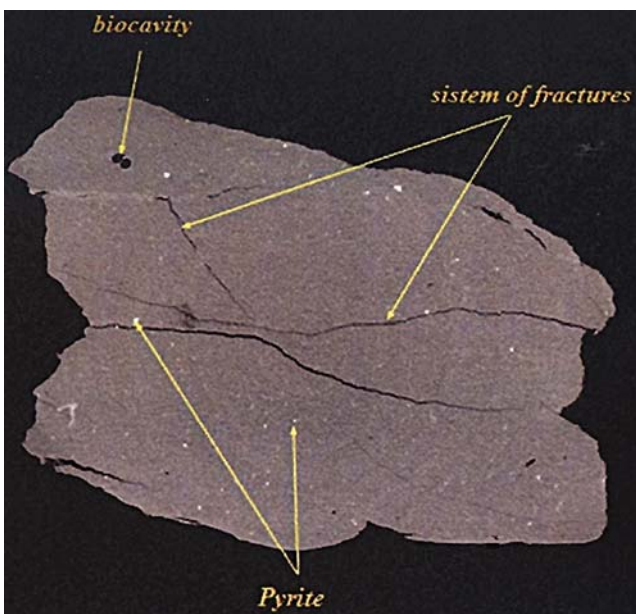
Loại sét	Bề mặt riêng S (m ² /g)	CEC (meq/g)	Độ dày h (Å)
Kaolinite	15 - 45	0,03 - 0,15	6 - 15
Illite	90 - 20	0,10 - 0,40	8 - 26
Vermiculite	680 - 1.000	1,00 - 2,00	16 - 30
Montmorilonite	700 - 900	0,80 - 1,50	17 - 30

2.1. Hàm lượng sét cao trong đá chứa và cát sét xen kẽ phân lớp mỏng

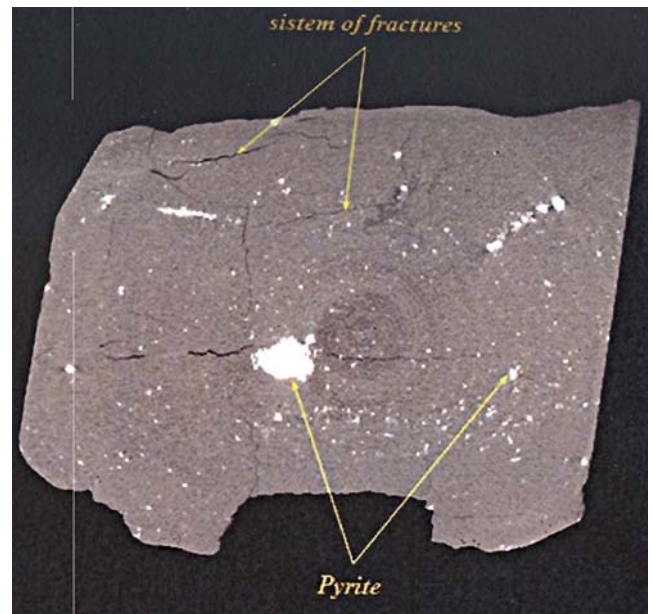
Theo kết quả minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan, đặc điểm nổi bật của trầm tích khu vực nghiên cứu là các tầng chứa có hàm lượng sét xâm tán cao và các lớp cát bột sét kết xen kẽ lẫn nhau, đặc trưng cho môi trường thành tạo đồng bằng châu thổ vũng vịnh và biển nông gần bờ. Điều này phù hợp với các báo cáo về minh giải tương địa chất và môi trường thành tạo đã chỉ ra trước đó.

Kết quả nghiên cứu địa chất của khu vực chỉ ra khu vực nghiên cứu không có biểu hiện dị thường phóng xạ, tức là các giá trị đo gamma tán xạ theo phương pháp Gamma Ray (GR) phản ánh đúng tính chất vật lý thạch học của đá cát sét đã được khoan qua. Tài liệu GR cho thấy các tập vỉa sản phẩm đo được giá trị GR cao (100 - 120 API), điện trở suất thấp (2 - 4Ω). Điều này chứng tỏ hàm lượng sét xâm tán (Vcl) trong các vỉa cát rất lớn. Bên cạnh đó, tài liệu GR cũng cho thấy các tầng cát chứa sản phẩm rất mỏng và xen kẽ bởi các tập sét dày.

Thông thường, điện trở đo được trong các tập vỉa cát sạch sẽ cao hơn so với các lớp sét bột kết xen kẽ. Tuy nhiên tại khu vực nghiên cứu, tỷ số giữa chiều dày của các lớp cát sạch với chiều dày chung của tập rất nhỏ. Với mô hình kiến trúc đá như vậy, các lớp cát



Hình 3. Pyrite tại giếng khoan thuộc khu vực nghiên cứu, 1.420mMD

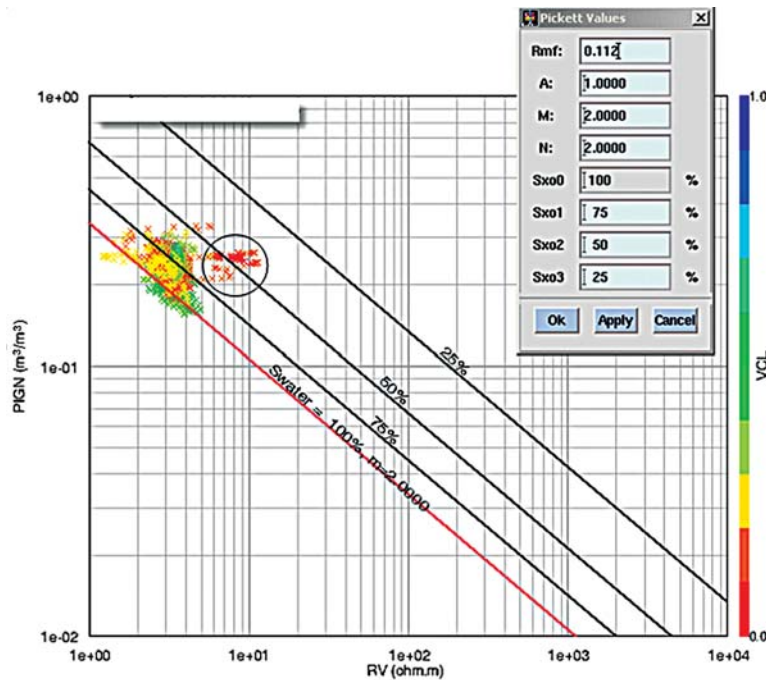


Hình 4. Pyrite tại giếng khoan thuộc khu vực nghiên cứu, 1.455mMD

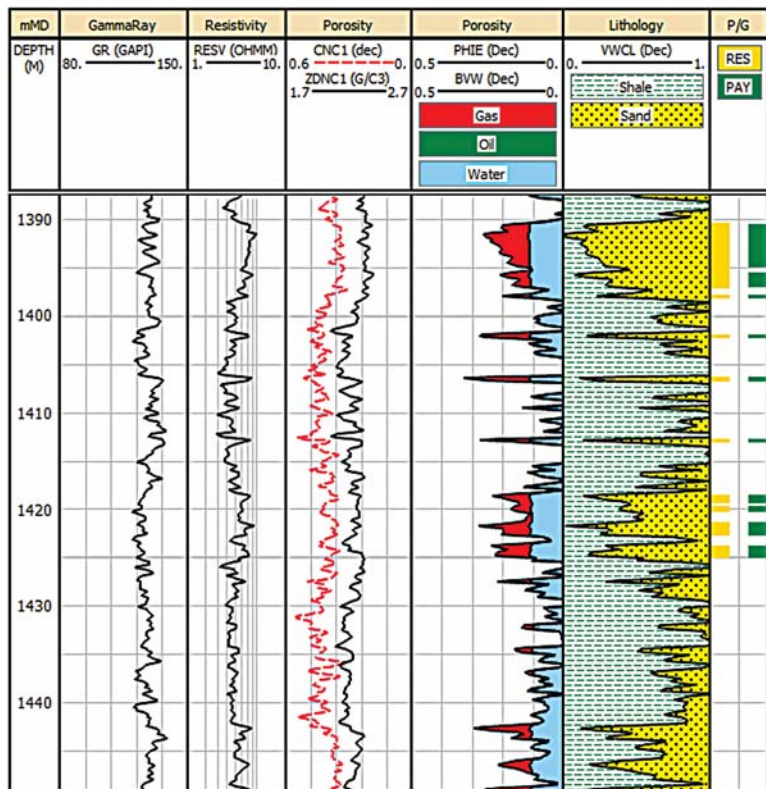
sét đóng vai trò như những điện trở mắc song song. Vì vậy, giá trị điện trở đo được của tầng sản phẩm chủ yếu phụ thuộc vào điện trở của các lớp có giá trị thấp là các lớp sét phân lớp.

Điện trở suất đo bằng các thiết bị đo có chiều sâu nghiên cứu lớn (LLD) chủ yếu đo được điện trở suất dọc của

tập vỉa (Vertical Resistivity - Rv), nghĩa là giá trị đo này phụ thuộc vào điện trở của các lớp sét nhiều hơn các lớp cát. Như vậy, hàm lượng sét xâm tán cao trong vỉa sản phẩm và các vỉa sản phẩm mỏng được xen kẽ bởi các tập sét dày là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng điện trở suất thấp trong các tầng chứa sản phẩm (Hình 2).



Hình 5. Pickett-plot xác định độ khoáng hóa nước vỉa



Hình 6. Kết quả minh giải địa vật lý giếng khoan theo phương pháp truyền thống

2.2. Độ bão hòa nước liên kết cao (Bound water saturation - Swr)

Năm 1942, sau khi Archie công bố công trình mô hình tính toán độ bão hòa nước trong đá chứa cát kết, nhiều nhà khoa học đã tiến hành tính toán minh giải và nhận thấy mô hình của Archie chỉ phù hợp với các lát cắt gồm những vỉa cát sạch, không chứa hoặc chứa rất ít hàm lượng sét xâm tán. Tuy nhiên, trong thực tế rất hiếm có mỏ như mô hình này, bởi trong vỉa cát kết bao giờ cũng chứa hàm lượng sét xâm tán.

Vì vậy, nhiều công trình nghiên cứu được công bố sau đó đã đưa ra mô hình 2 loại nước tồn tại trong vỉa chứa là nước tự do và nước liên kết. Nước liên kết (còn gọi là nước dư, nước sót, nước màng...) có độ khoáng hóa cao, tồn tại trong đá chứa cát sét ở lớp màng phủ trên bề mặt các hạt sét và không di chuyển được trong vỉa chứa ở điều kiện vỉa thông thường. Nước liên kết khác với nước tự do ở chỗ khi sử dụng các phương pháp hút chân không hay ly tâm đều không tách khỏi mẫu đá. Ở điều kiện vỉa, nước liên kết hấp phụ trên bề mặt các hạt sét làm cho sét bị trương nở. Tỷ phần thể tích của nước liên kết trong đá tỷ lệ với diện tích bề mặt riêng của sét và chiều dày của lớp màng bao trên các hạt sét.

Trong Bảng 1, sét montmorillonite có hoạt tính mạnh, diện tích bề mặt rộng và luôn có màng chứa nước dày khoảng 6,8Å trong mạng tinh thể nên ngâm nước nhiều hơn các khoáng vật sét khác. Các đá cát sét chứa nhiều montmorillonite sẽ có độ bão hòa nước liên kết (S_{wr}) cao, khả năng dẫn điện tốt hơn, điện trở suất thấp hơn.

Các kết quả phân tích mẫu lát mỏng thạch học (thin sections) cho thấy thành phần montmorillonite cao trong xi măng gắn kết nên khả năng giữ nước liên kết của đá cát kết trong khu vực nghiên cứu sẽ rất cao. Vì thế, độ bão hòa nước liên kết cao là một trong những

nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng điện trở suất thấp trong tầng sản phẩm.

2.3. Sự có mặt của khoáng vật pyrite (FeS₂)

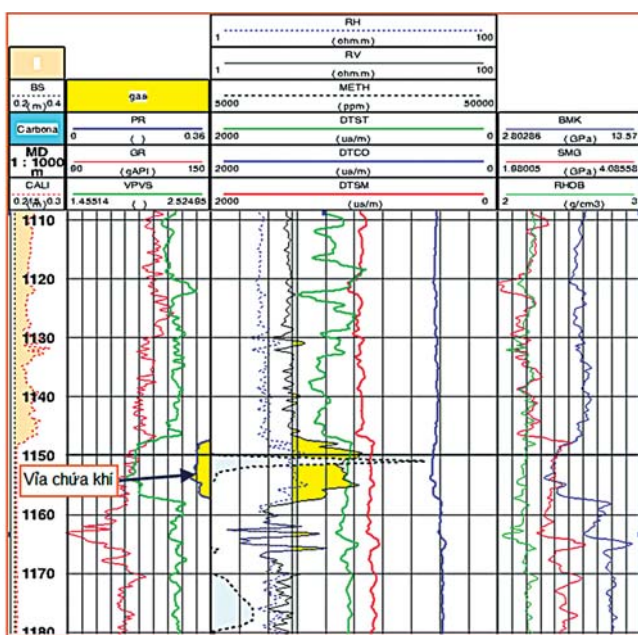
Pyrite là khoáng vật có độ dẫn điện rất cao, do đó chỉ với hàm lượng nhỏ trong đá cũng có thể tạo ra môi trường dẫn điện tốt hơn. Đá trầm tích pyrite thường là khoáng vật tự sinh, hình thành ở giai đoạn biến đổi hậu sinh và trong thành tạo đá thứ hai ở chiều sâu trung bình, trong môi trường khử có hoạt động mạnh của vi khuẩn, giàu khí H₂S, CH₄, NH₃... có thể gặp pyrite trong đá trầm tích ở dạng hạt vụn, lấp đầy lỗ rỗng hoặc khe nứt, hoặc dạng kết hạch hậu sinh. Ở một số trường hợp trong đá trầm tích pyrite tích tụ lại theo dạng những màng mỏng song song với mặt phân lớp, có chiều dày thay đổi. Pyrite còn xuất hiện trong đá cát sét dưới dạng các chuỗi tinh thể nhỏ và có thể tạo thành mạng lưới liên tục, mặc dù chỉ với hàm lượng thấp.

Do vậy, pyrite vừa là thành phần khoáng vật của đá trầm tích sinh hóa vừa có vai trò như xi măng gắn kết và luôn có quan hệ tiếp xúc với chất lỏng bão hòa. Chỉ trong môi trường khử (các lớp than, sét than, sét, cát sét và carbonate giàu vật chất hữu cơ...) thì khoáng vật pyrite mới không bị biến đổi hóa học. Sự có mặt của hydrocarbon trong các tầng đá chứa đã bảo đảm duy trì điều kiện khử của môi trường, giúp cho sự tồn tại của pyrite được bền vững.

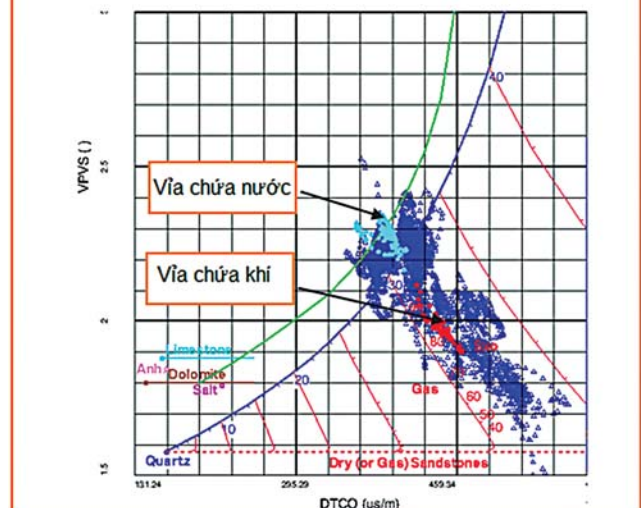
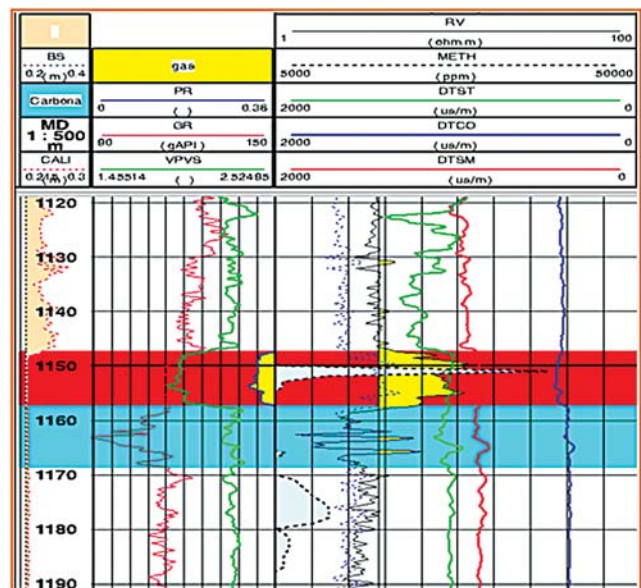
Khác với phần lớn các khoáng vật tạo đá khác, pyrite có khả năng dẫn điện tốt hơn nước vỉa và có bản chất

dẫn điện điện tử. Khi dịch chuyển dòng điện tích từ nước sang pyrite hoặc từ pyrite sang nước đều kéo theo quá trình chuyển đổi từ dẫn điện ion sang dẫn điện điện tử và ngược lại. Quá trình chuyển đổi đó gây ra sự phân cực trên bề mặt tiếp xúc pyrite/nước. Đây cũng là một tính chất điện quang quan trọng của đá phụ thuộc vào tần số biến đổi của điện trường và hàm lượng pyrite có trong đá đó. Vì vậy, rõ ràng sự có mặt của pyrite trong đá trầm tích làm cho đá có độ dẫn điện tốt hơn nhờ khả năng dẫn điện lớn của khoáng vật này.

Kết quả phân tích mẫu lát mỏng các giếng khoan trong khu vực nghiên cứu đã phát hiện sự có mặt của khoáng vật pyrite ở dạng tinh thể nhỏ hoặc dạng ổ, hàm lượng từ 0,02 - 2% (Hình 3 và 4). Các nghiên cứu đã được công bố với hàm lượng pyrite từ 1 - 2% trong thành phần của đá có thể làm tăng độ dẫn điện của đá cát sét lên ít nhất 16% [3]. Như vậy, các nghiên cứu cho thấy sự xuất



Hình 7. Xác định các khoảng chứa hydrocarbon dựa vào tài liệu siêu âm



Hình 8. CrossPlot V_p/V_s - DTCC để xác định độ bão hòa khí

hiện của khoáng vật pyrite là nguyên nhân gây nên hiện tượng điện trở suất thấp trong các tầng chứa sản phẩm.

3. Mô hình tính toán độ bão hòa

Khi thực hiện minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan, nhóm tác giả sử dụng 2 phương pháp độc lập và so sánh các kết quả. Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày các kết quả minh giải ở độ sâu 1.385 - 1.450mMD, giếng khoan A, khu vực nghiên cứu.

3.1. Phương pháp minh giải truyền thống (conventional log interpretation - CLI)

Với mô hình vỉa có chứa hàm lượng sét phân tán, mô hình Dual Water Model (DWM) được xem là tối ưu để tính toán độ bão hòa của nước. Giá trị điện trở suất sử dụng từ phương pháp đo điện trở suất 3D dọc thành hệ (3D induction log, Rv). Nhóm tác giả đã sử dụng mô hình DWM để tính toán độ bão hòa nước ở khu vực nghiên cứu theo phương pháp minh giải truyền thống.

Phương trình Dual Water:

$$C_t = \frac{1}{a} \Phi_t^m S_{wt}^n \left[\frac{S_{wt} - S_{wb}}{S_{wt}} \right] C_w + C_{bw} \frac{S_{wb}}{S_{wt}}$$

Trong đó:

a: Hệ số khúc khuỷu (tortuosity factor);

m: Hệ số xi măng;

n: Hệ số bão hòa;

C_w: Độ dẫn của nước biểu kiến;

C_t: Độ dẫn của thành hệ (Hiệu chỉnh từ đường log = 1.000/Rt);

C_{bw}: Hệ số dẫn điện của nước liên kết (C_{bw} = 1.000/R_{wb});

S_{wt}: Độ bão hòa nước tổng;

S_{wb}: Độ bão hòa nước liên kết S_{wb} = 1 - (ΦE/ΦT) = Φ_{TSh}* V_{sh}/ΦT;

S_{we}: Độ bão hòa nước hiệu dụng; S_{we} = S_{wt}*(1 - S_{wb}).

Các tham số được xác định như sau:

- Các giá trị a, m, n được xác định dựa trên kết quả phân tích đặc biệt mẫu lõi thu thập được từ các giếng khoan của mỏ, cụ thể như sau: a = 1, m = 2, n = 2.

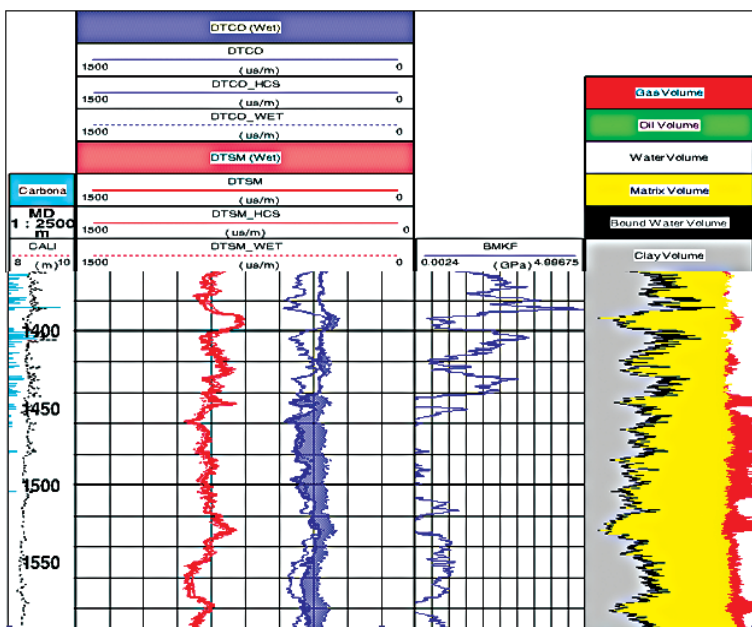
- Điện trở suất nước vỉa (R_w): Từ các kết quả phân tích mẫu chất lưu lấy được trong quá trình đo áp suất giếng

khoan A, sử dụng phương pháp Dean Stack xác định độ khoáng hóa của nước vỉa. Từ kết quả phân tích các mẫu chất lưu, kết hợp với phương pháp Pickett-plot giữa giá trị độ rỗng hiệu dụng và điện trở R_v (Hình 5).

3.2. Sử dụng tài liệu siêu âm để xác định độ bão hòa hydrocarbon (S_{hc})

3.2.1. Xác định các khoảng có khả năng chứa hydrocarbon.

- Tỷ số V_p/V_s: Từ tài liệu đo ghi của phương pháp siêu âm xác định được các giá trị vận tốc sóng dọc V_p (P-wave velocity) và vận tốc sóng ngang V_s (S-wave velocity). Từ tỷ số V_p/V_s có thể xác định được sự có mặt của hydrocarbon trong vỉa chứa. Cụ thể, đối với các vỉa có độ rỗng tốt và bão hòa hydrocarbon thì giá trị V_p sẽ giảm và V_s sẽ tăng, các giá trị này thay đổi nhiều nhất khi bão hòa là dầu nhẹ và đặc biệt là khí.



Hình 9. Kết quả minh giải theo phương pháp siêu âm

Bảng 2. So sánh kết quả minh giải tầng H22 giếng khoan A, khu vực nghiên cứu

Tầng sản phẩm	Phương pháp minh giải	Top (m)	Bottom (m)	Gross (m)	NetPlay (m)	N/G (FRac)	Av Phi (Frac)	Av Sg (Frac)	Av Vcl (Frac)
H22	Phương pháp truyền thống	1.385	1.450	65	12,8	0,20	0,21	0,49	0,23
	Phương pháp siêu âm	1.385	1.450	65	16,5	0,25	0,22	0,64	0,23

Như vậy, khi biểu diễn tỷ số V_p/V_s cùng các tài liệu đo ghi khác, khoảng chiều sâu có tỷ số thấp được xác định có khả năng tồn tại hydrocarbon trong vỉa.

- Tỷ số poisson (poisson ratio - PR) được xác định theo công thức sau:

$$\sigma = 1/2 * (V_p^2 - 2V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)$$

Trong đó:

σ : Tỷ số poisson (PR);

V_p : Vận tốc sóng dọc;

V_s : Vận tốc sóng ngang.

Cũng theo cách giải thích trên khi có sự góp mặt của hydrocarbon trong vỉa thì giá trị của σ sẽ giảm.

Kết hợp tỷ số V_p/V_s , tỷ số poisson σ với các tài liệu Mudlog có thể xác định được các khoảng chứa hydrocarbon (Hình 7).

3.2.2. Sử dụng CrossPlot V_p/V_s - DTCO để xác định độ bão hòa khí

Sau khi xác định được các khoảng chứa hydrocarbon, sử dụng CrossPlot giữa tỷ số V_p/V_s và đường Delta T đo được (DTCO) có thể xác định được độ bão hòa trung bình của hydrocarbon trong vỉa chứa. Những vỉa có ranh giới khí nước cũng có thể dễ dàng phân biệt trên biểu đồ CrossPlot (Hình 8). Kết quả minh giải theo phương pháp siêu âm được biểu diễn trên Hình 9.

Kết quả minh giải chi tiết của phương pháp truyền thống và phương pháp siêu âm được trình bày trong Bảng 2.

Kết quả minh giải bằng 2 phương pháp khác nhau cho thấy đối với phương pháp minh giải truyền thống trong lát

cắt điện trở suất thấp gặp sai số lớn khi tính toán độ bão hòa nước do chỉ số tăng điện trở RI thường rất thấp, giá trị S_w tính được bao giờ cũng cao hơn thực tế. Trong trường hợp này, kết quả tính toán bằng phương pháp siêu âm đáng tin cậy hơn và được nhóm tác giả sử dụng để kiến nghị để xuất khoáng thử vỉa cho giếng khoan. Kết quả thử vỉa giếng khoan đã cho dòng khí với lưu lượng 110.000m³/ngày.

4. Kết luận

Việc tính toán độ bão hòa trong các tầng chứa có điện trở suất thấp bằng các phương pháp minh giải truyền thống rất khó khăn, thường gặp sai số lớn dẫn đến khả năng bỏ sót các vỉa sản phẩm. Để có thể đưa ra mô hình tính toán phù hợp cần phải tìm hiểu rõ các nguyên nhân gây ra hiện tượng điện trở suất thấp, đồng thời kết hợp với các phương pháp nghiên cứu khác để nâng cao độ chính xác khi đánh giá vỉa sản phẩm qua tài liệu địa vật lý giếng khoan. Kết quả tính toán cho thấy phương pháp siêu âm có nhiều ưu điểm và điều này đã được kiểm chứng thông qua kết quả thử vỉa các giếng khoan ở khu vực nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Văn Phơn. 50 năm bài toán mô hình độ dẫn của đá cát sét và cái nhìn sâu hơn. Tạp chí Dầu khí. 2000; 4 + 5: p. 42 - 46.
2. Nguyễn Văn Phơn. Đánh giá ảnh hưởng của khoáng vật pyrite lên độ dẫn của đá cát sét. Tạp chí Dầu khí. 2000; 8: p. 33 - 36.
3. P.Beger. *Detecting hydrocarbons in low resistivity environments*. Jakarta Schlumberger Indonesia. 1994.

Major causes of low resistivity and a model to calculate hydrocarbon saturation in the turbidite pay sands of Song Hong basin

Le Trung Tam

Petrovietnam Exploration Production Corporation (PVEP)

Cu Minh Hoang

PVEP Overseas

Summary

The low resistivity phenomenon in the turbidite pay sands of Song Hong Basin on the continental shelf of Viet Nam was investigated based on synthesis and analysis of geological and mudlog data, thin section petrographical and petrophysical materials as well as related materials of the study area. The results which the authors present and discuss include the major causes of low resistivity and a new concept in Log interpretation to calculate water saturation. These results will be compared to conventional log interpretation methods.