

PHƯƠNG PHÁP MINH GIẢI TÀI LIỆU ĐỊA VẬT LÝ GIẾNG KHOAN ĐỐI VỚI CÁC VĨA CÁT SÉT PHẦN LỚP MỎNG

**ThS. Bùi Thiều Sơn, ThS. Cao Hữu Bình
 TS. Phùng Văn Hải, ThS. Nguyễn Đức Đông
 KS. Phan Thanh Lợi**
 Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí (PVEP)
 Email: haipv@pvep.com.vn

Tóm tắt

Bài viết giới thiệu kinh nghiệm, phương pháp luận minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan đối với các vỉa cát sét phân lớp mỏng và có điện trở suất thấp dựa trên các tài liệu thu được từ giếng khoan như: wireline, FMI, 3D induction resistivity, MDT/RCI, mẫu lõi và áp suất mao dẫn.

Từ khóa: Địa vật lý giếng khoan, phân lớp mỏng, điện trở suất thấp, Thomas-Stieber, Tensor (3D induction resistivity), FMI, áp suất mao dẫn.

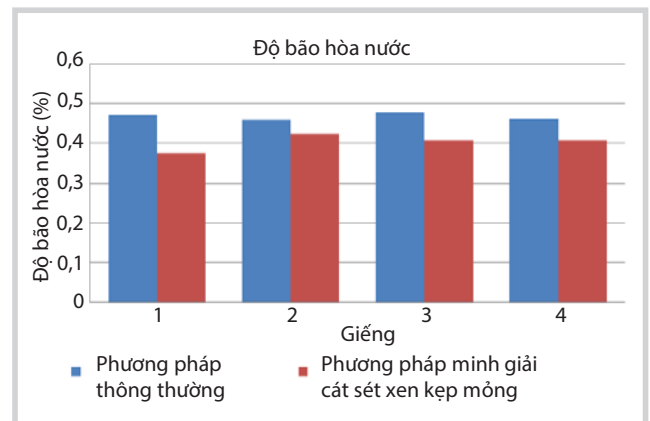
1. Giới thiệu

Trong quá trình đánh giá, minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan, việc tính toán các thông số vỉa của các mỏ có vỉa cát sét phân lớp mỏng gặp nhiều khó khăn do điện trở suất thành hệ thấp hơn điện trở thật của vỉa, dẫn đến tín hiệu bị sai lệch trong quá trình đo đạc. Từ đó, việc xác định các thông số vỉa như độ rỗng, độ bão hòa nước và chiều dày cát hiệu dụng chưa đúng với tính chất của vỉa. Vì vậy, cần áp dụng các phương pháp phân tích, minh giải để đánh giá chính xác các vỉa cát sét phân lớp mỏng (Hình 1, 2, 3).

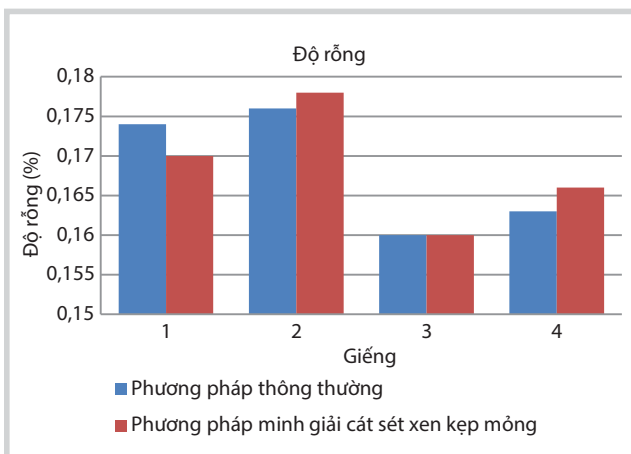
Cát sét phân lớp mỏng bao gồm các phân lớp địa chất mỏng có bề dày < 24inch. Theo địa vật lý giếng khoan, phân lớp mỏng là đơn vị trầm tích có độ dày nhỏ hơn độ phân giải dọc của các thiết bị đo tiêu chuẩn, ví dụ gamma ray, mật độ, neutron, điện trở, âm học... [1] (Hình 4).

2. Cơ sở lý thuyết trầm tích cát sét phân lớp mỏng và phương pháp minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan

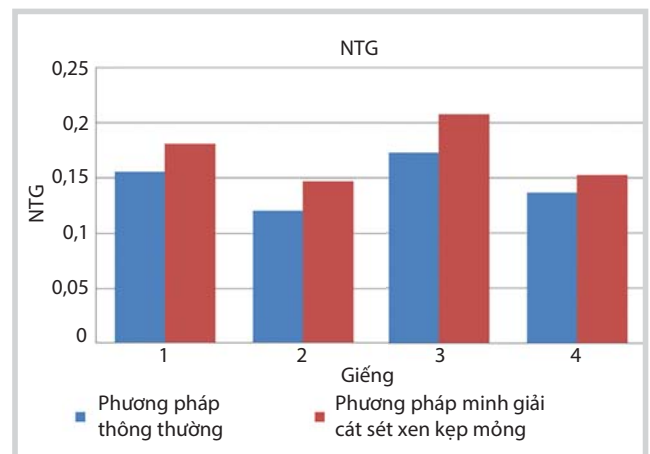
Đối với các tập trầm tích phân lớp mỏng, sét ảnh hưởng đến các thông số vỉa (Hình 6).



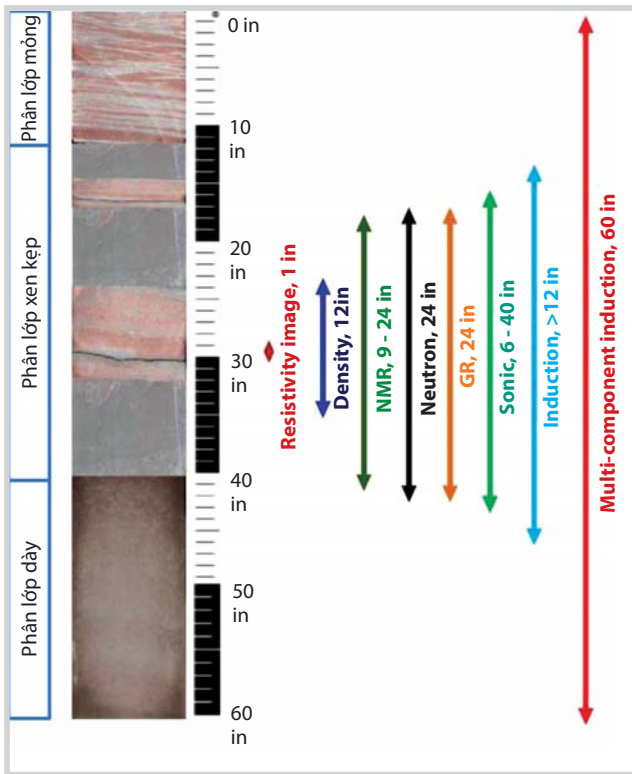
Hình 2. Kết quả minh giải độ bão hòa nước bằng phương pháp thông thường và phương pháp cát sét phân lớp mỏng



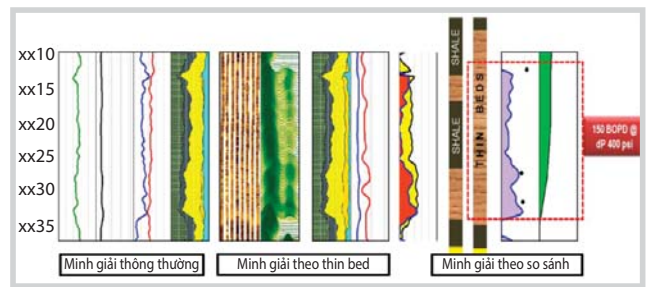
Hình 1. Kết quả minh giải độ rỗng bằng phương pháp thông thường và phương pháp cát sét phân lớp mỏng



Hình 3. Kết quả minh giải NTG bằng phương pháp thông thường và phương pháp cát sét phân lớp mỏng



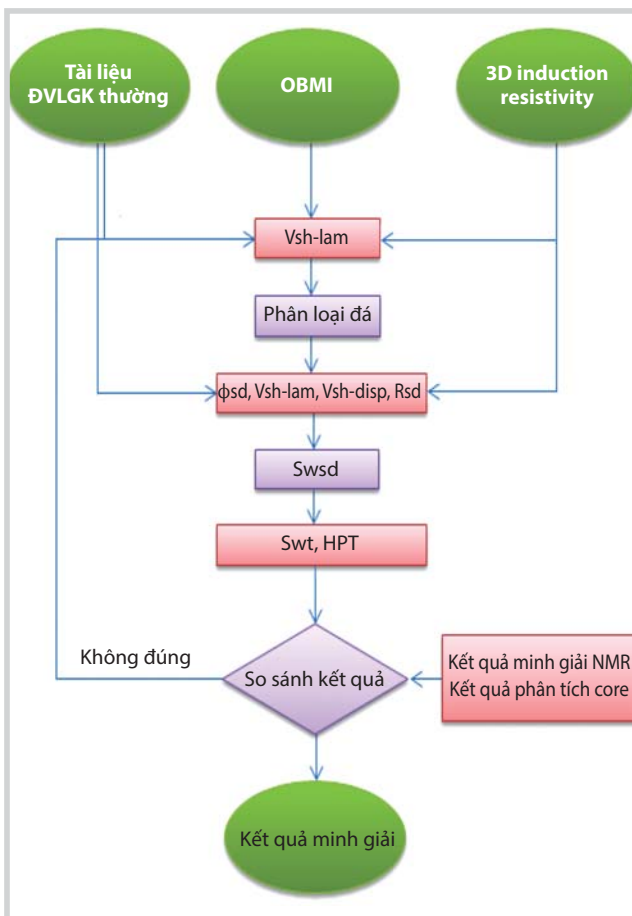
Hình 4. Độ phân giải các thiết bị đo trong giếng khoan



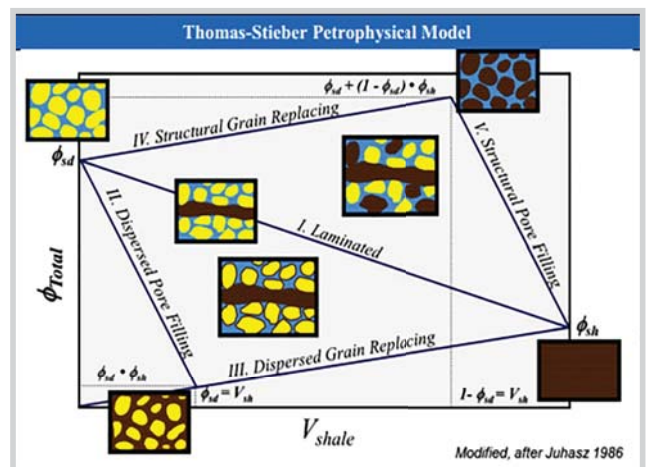
Hình 5. Kết quả minh giải thông thường và minh giải bằng các phương pháp áp dụng cho vỉa cát sét phân lớp mỏng

Cát sạch	Sét phân lớp	Sét cấu trúc	Sét xâm tán
Porosity	Porosity	Porosity	Porosity Shale
Quartz	Quartz Shale	Quartz Shale	Quartz

Hình 6. Sự phân bố sét trong cát kết và sự ảnh hưởng đến độ rỗng



Hình 7. Các phương pháp minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan cho vỉa cát sét phân lớp mỏng



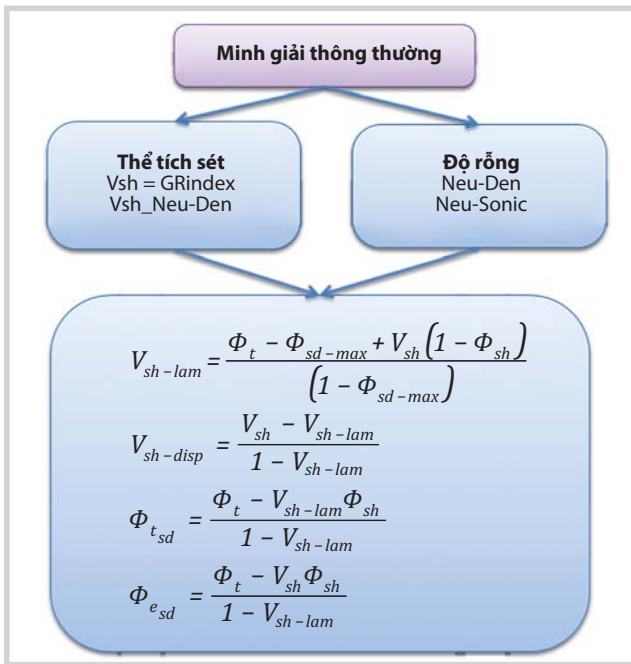
Hình 8. Thomas-Stieber's cross plot

Các phương pháp minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan cho vỉa cát sét phân lớp mỏng được thể hiện trong Hình 7.

2.1. Phương pháp Thomas-Stieber

Việc xác định thành phần, thể tích sét phân lớp và sét xâm tán, độ rỗng cát được xây dựng theo phương pháp Thomas-Stieber [2, 3] (Hình 8).

Workflow minh giải theo phương pháp Thomas-Stieber.



Trong đó:

GR_{index} : Chỉ số gamma ray;

V_{sh} : Thể tích sét;

V_{sh-lam} : Thể tích sét phân lớp;

$V_{sh-disp}$: Thể tích sét xâm tán;

Φ_t : Độ rỗng tổng;

Φ_{sd-max} : Độ rỗng lớn nhất của cát;

Φ_{sh} : Độ rỗng của sét;

Φ_{tsd} : Độ rỗng tổng của cát;

Φ_{esd} : Độ rỗng hiệu dụng của cát.

Việc xác định độ bão hòa nước đối với các vỉa cát sét phân lớp mỏng được tính thông qua các phương pháp sau:

Archie

$$S_{w_{sd}}^n = \frac{a \times R_w}{\Phi_{sd}^m \times R_t}$$

Waxman-Smiths

$$R_t = \frac{R_w}{S_{w_{sd}}^{n^*} \Phi_{sd}^{m^*} \left(1 + R_w B \frac{Q_v}{S_w}\right)}$$

Dual Water

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\Phi_{sd}^{m^*} S_{w_{sd}}^{n^*}}{a} \left[\frac{1}{R_w} + \frac{S_{wb}}{S_{w_{sd}}} \left(\frac{1}{R_{wb}} - \frac{1}{R_w} \right) \right]$$

$$S_{wb} = \frac{V_{sh-disp} \Phi_{sh}}{\Phi_{sd}}$$

$$R_{wb} = \frac{\Phi_{sh}^{m^*} R_{sh}}{a}$$

Độ bão hòa nước tổng được tính như sau:

$$S_{wt} = \frac{S_{w_{sd}} \Phi_{sd} (1 - V_{sh-lam}) + V_{sh-lam} \Phi_{sh}}{\Phi_t}$$

Trong đó:

a, m, n, m^*, n^* : Hệ số Archie;

Q_v : Volumetric CEC;

B : Equivalent Cationic Conductance of a Sodium Ion;

S_{wb} : Độ bão hòa nước màng bao trong 1 đơn vị cát;

R_w : Điện trở suất của nước;

R_{wb} : Điện trở suất nước màng bao.

Tuy nhiên, các vỉa cát sét phân lớp có điện trở suất thấp dẫn đến khó tính toán chính xác độ bão hòa nước. Phương pháp Thomas-Stieber chỉ có thể xác định được thành phần sét và độ rỗng cát.

2.2. Phương pháp hình ảnh từ dung dịch khoan gốc dầu (OBMI-Oil base mud image)

Dựa trên điện trở suất thẩm rửa R_{xo} để tính thể tích sét phân lớp, từ đó tính được các thông số về độ rỗng cát. Tuy nhiên, kết quả tính toán độ bão hòa nước vẫn gặp khó khăn do việc xác định điện trở suất của vỉa trong trường hợp vỉa có điện trở suất thấp.

2.3. Phương pháp cảm ứng điện trở suất 3D (3D Induction resistivity)

Với phương pháp này, ngoài việc minh giải trên các đường cong địa vật lý giếng khoan thu được từ wireline, cần phải đo thêm điện trở suất ngang và điện trở suất dọc của vỉa dựa trên các thiết bị đo điện trở 3D induction [4 - 7] (Hình 9).

Klein's plot được xây dựng trên nguyên tắc sau:

$$R_v = F_{sand} R_{sand} + F_{shale} R_{sh_v}$$

$$1/R_h = F_{sand}/R_{sand} + F_{shale}/R_{sh_h}$$

$$1 = F_{sand} + F_{shale}$$

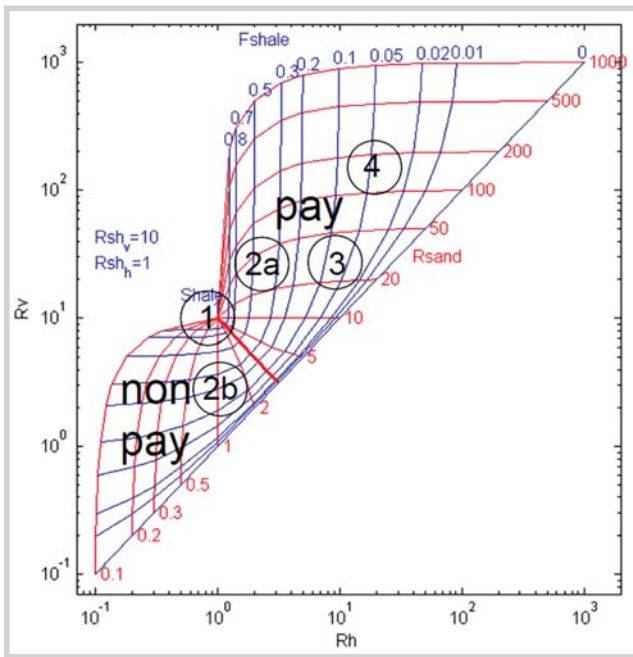
$$F_{sand} = V_{sd}/(1 - \phi_e)$$

$$F_{shale} = V_{sh}/(1 - \phi_e)$$

Trong đó:

R_{sh_h} : Điện trở suất sét ngang;

R_{sh_v} : Điện trở suất sét dọc.



Hình 9. Klein's plot (Điểm 1: sét bất đẳng hướng, 2a: vỉa cát/sét chứa sản phẩm, 2b: vỉa cát/sét không chứa sản phẩm, 3: kích thước hạt biến đổi mạnh, 4: đá vôi chặt sét)

Từ đó xác định được thể tích sét phân lớp và điện trở suất của cát dựa trên bộ phương trình sau:

$$\frac{1}{R_h} = \frac{V_{sh-lam}}{R_{shh}} + \frac{1 - V_{sh-lam}}{R_{sd}}$$

$$V_{sh-lam} R_{shv} + (1 - V_{sh-lam}) R_{sd}$$

Trong đó:

R_h : Điện trở suất ngang đo được từ thiết bị 3D induction;

R_v : Điện trở suất dọc đo được từ thiết bị 3D induction;

R_{shh} : Điện trở suất ngang của sét đo được từ mẫu core;

R_{shv} : Điện trở suất dọc của sét đo được từ mẫu core.

Tiếp theo có thể tính được thể tích sét xâm tán, độ rỗng của cát như sau:

$$V_{sh-disp} = \frac{V_{sh} - V_{sh-lam}}{1 - V_{sh-lam}}$$

$$\phi_{tsd} = \frac{\phi_t - V_{sh-lam} \phi_{sh}}{1 - V_{sh-lam}}$$

$$\phi_{esd} = \frac{\phi_t - V_{sh} \phi_{sh}}{1 - V_{sh-lam}}$$

Việc xác định được điện trở suất của cát giúp cho việc tính độ bão hòa nước chính xác hơn, từ đó sẽ xây dựng được các phương pháp sau:

Archie

$$S_{w_{sd}}^n = \frac{a \times R_w}{\phi_{sd}^m \times R_{sd}}$$

Waxman-Smiths

$$R_{sd} = \frac{R_w}{S_w^{n^*} \phi_{sd}^{m^*} \left(1 + R_w B \frac{Q_v}{S_w}\right)}$$

Dual Water

$$\frac{1}{R_{sd}} = \frac{\phi_{sd}^{m^*} S_{w_{sd}}^{n^*}}{a} \left[\frac{1}{R_w} + \frac{S_{wb}}{S_{wa}} \left(\frac{1}{R_{wb}} - \frac{1}{R_w} \right) \right]$$

$$S_{wb} = \frac{V_{sh-disp} \phi_{sh}}{\phi_{sd}}$$

$$R_{wb} = \frac{\phi_{sh}^{m^*} R_{sh}}{a}$$

Độ bão hòa nước tổng được xác định bằng công thức:

$$S_{wt} = \frac{S_{w_{sd}} \phi_{sd} (1 - V_{sh-lam}) + V_{sh-lam} \phi_{sh}}{\phi_t}$$

Phương pháp Tensor model giúp tính toán độ bão hòa nước chính xác hơn so với việc sử dụng điện trở của cát.

Việc sử dụng thiết bị đo điện trở suất ngang và dọc vẫn gặp nhiều khó khăn. Nhưng nếu có các thí nghiệm mẫu lõi đặc biệt và xác định được ranh giới dầu nước (Free water level) thì phương pháp Leverret J (Saturation height/ P_c modeling) có thể dễ dàng tính toán độ bão hòa nước.

Trong trường hợp có mẫu lõi và thực hiện thí nghiệm về áp suất mao dẫn, độ bão hòa nước được xác định theo công thức sau [8]:

$$P_{c_{res(gas-water)}} = \frac{P_{c_{lab(air-water)}}}{\sigma \cos \theta_{lab(air-water)}} \times \sigma \cos \theta_{res(gas-water)}$$

$$J = 0,216 \frac{P_c}{\sigma \cos \theta} \sqrt{\frac{k}{\phi}}$$

$$P_c = (G_w - G_o)h$$

$$S_{w_J} = \left(\frac{a}{0,216} \times \frac{\sigma \cos \theta}{P_c} \sqrt{\frac{\phi}{K}} \right)^{1/b}$$

Trong đó:

P_c : Áp suất mao dẫn;

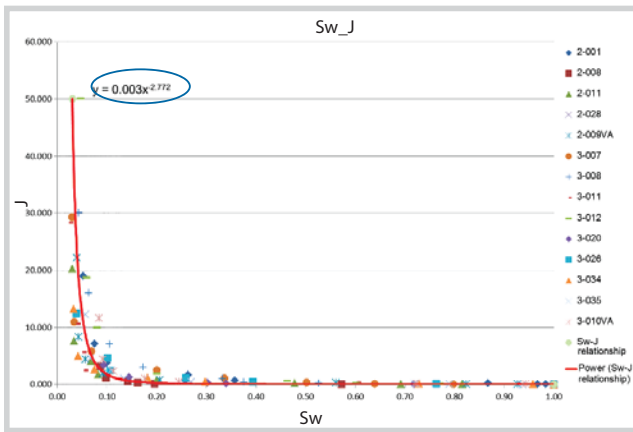
K : Độ thấm;

Φ : Độ rỗng;

$\sigma \cos \theta$: Sức căng góc dính ướt;

G_w : Gradient nước;

G_o : Gradient dầu tại h (Free water level).



Hình 10. Đồ thị J và độ bão hòa nước

3. Ứng dụng minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan mỏ X

Nhóm tác giả ứng dụng các phương pháp minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan mỏ X (Bảng 1 và 2). Tài liệu mẫu lõi của giếng α (Hình 11) cho thấy vỉa cát kết phân lớp mỏng có nơi rất mỏng, do đó tính toán thể tích sét bằng gamma ray kém hiệu quả hơn so với sử dụng Neu-Den và thể tích sét tính toán dựa trên điện trở thẩm nhiễm R_{xo} thu được từ FMI.

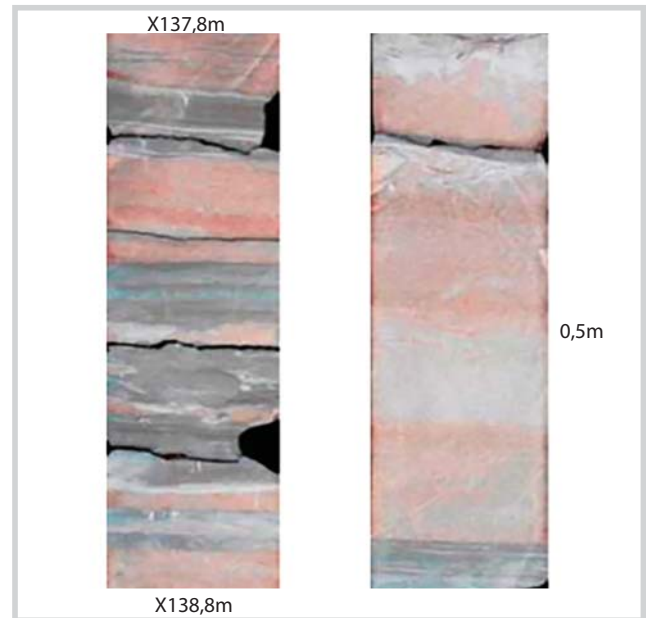
Bảng 1. Tài liệu giếng α mỏ X

Dữ liệu	Giếng: α	Đơn vị
Gamma ray	✓	GAPI
Apparent resistivity	✓	Ohm-m
Density	✓	g/cc
Neutron	✓	V/V
Rt-Scanner	✓	Ohm-m
Mẫu lõi	✓	-
Ảnh mẫu lõi	✓	-

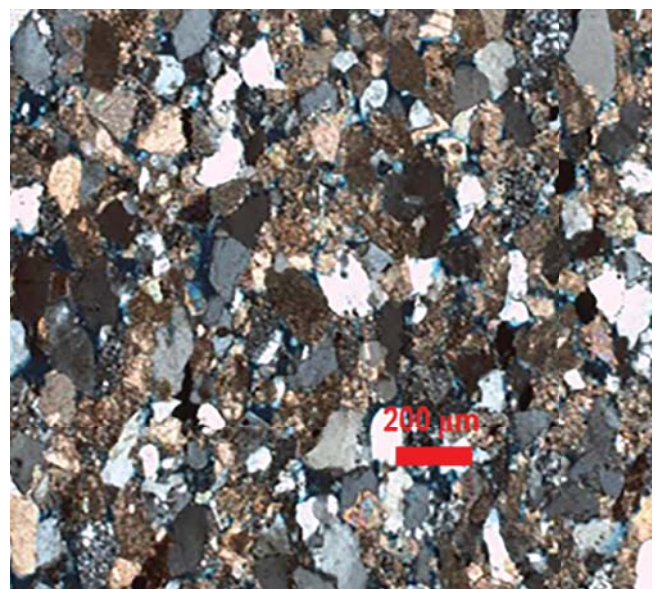
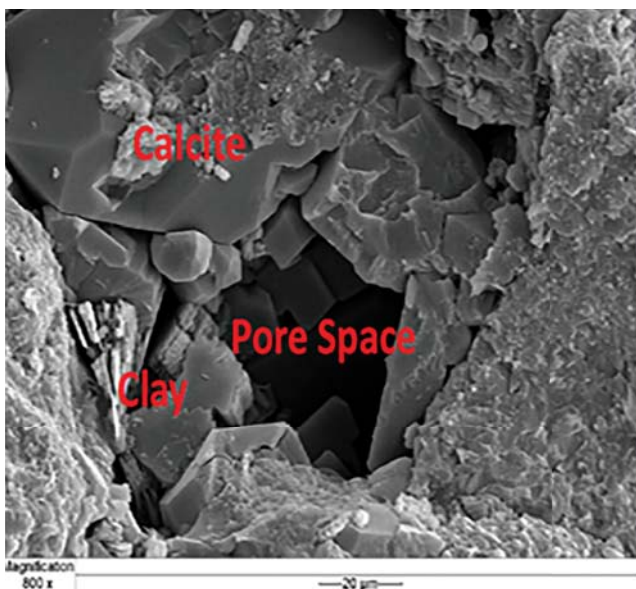
Bảng 2. Thông số đầu vào các giếng mỏ X

Thông số đầu vào	Giếng: α	Đơn vị
GR_{sh}	20	GAPI
GR_{sd}	72	GAPI
a	1	[-]
m	2,1	[-]
n	2	[-]
Điện trở suất của sét (R_{sh})	2,45	Ohm-m
Điện trở suất ngang của sét được đo trên mẫu lõi (R_{shh})	2,45	Ohm-m
Điện trở suất dọc của sét được đo trên mẫu lõi (R_{shv})	3,5	Ohm-m
Φ_{sh}	0,13	%
Nồng độ muối	35.000	ppm

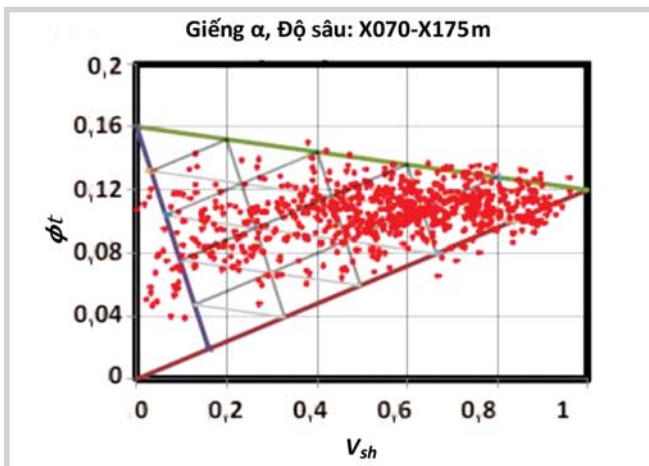
Với độ rỗng lớn nhất của cát Φ_{sd-max} từ 14 đến 20%



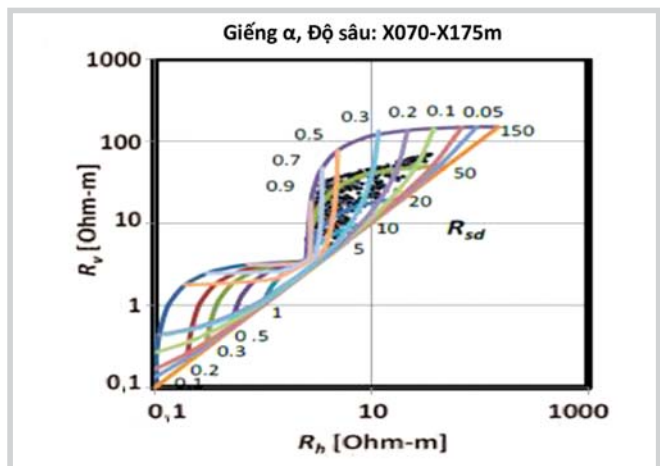
Hình 11. Hình mẫu lõi giếng α



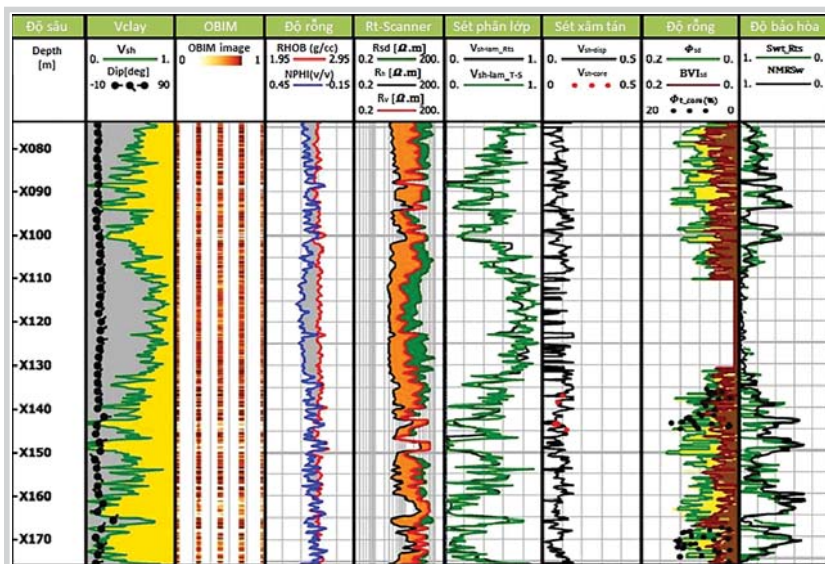
Hình 12. Thành phần khoáng vật ảnh SEM và dưới kính hiển vi



Hình 13. Thomas-Stieber giếng a



Hình 14. Klein's plot giếng a



Hình 15. Kết quả minh giải giếng a

Hình 12 cho thấy có 2 thành phần khoáng vật là clay và calcite, từ đó giúp lựa chọn phương pháp double indicator là Neu-Den để tính độ rỗng tổng theo phương pháp Thomas-Stieber.

Phương pháp Thomas-Stieber (Hình 13) cho thấy ở độ sâu từ X070 đến X175 có > 80% là sét phân lớp (laminated shale), gần 18% là sét xâm tán (dispersed shale).

Dựa trên Klein's plot (Hình 14) có thể xác định được đa phần sét đồng hướng (isotropic shale) và khoảng độ sâu 5m là một vỉa sản phẩm dầu khí.

Kết quả minh giải giếng a mở X theo phương pháp Thomas-Stieber và Tensor model (Hình 15) nhận thấy thể tích sét phân lớp (laminar shale) được tính toán theo 2 phương pháp bằng nhau. Thể tích sét xâm tán (dispersed shale) bằng với phân tích từ mẫu lõi.

Kết quả minh giải độ rỗng bằng phần mềm cũng gần bằng phân tích từ mẫu lõi.

Kết quả tính độ bão hòa nước từ phương pháp Tensor model bằng với kết quả từ NMR.

4. Kết luận và kiến nghị

- Phương pháp Thomas-Stieber có thể minh giải các thông số vỉa chứa ở các vỉa cát sét phân lớp mỏng nhưng không chịu ảnh hưởng của điện trở thấp.

- Phương pháp 3D Induction Resistivity có thể minh giải chính xác các thông số địa vật lý giếng khoan trong các vỉa cát sét phân lớp mỏng có điện trở thấp.

Có thể áp dụng kết hợp 2 phương pháp Thomas-Stieber và Saturation Height (khi xác định được ranh giới dầu nước) để minh giải các thông số vỉa chứa ở các vỉa phân lớp mỏng.

Đối với các mỏ có vỉa cát sét phân lớp mỏng cần lấy mẫu lõi để phân tích điện trở suất sét ngang và dọc. Cần có kế hoạch sử dụng các thiết bị đo điện trở ngang và điện trở dọc thông qua các thiết bị 3D induction resistivity cho các giếng tương lai trong vỉa xen kẹp mỏng.

Tài liệu tham khảo

1. Mirza Hassan Baig. *Integrating NMR and tri-axial resistivity data in thin bed formation evaluation*. Norwegian Formation Evaluation Society. www.nfes.org.

2. E.C.Thomas, S.J.Stieber. *The distribution of shale in sandstone and its effects upon porosity*. SPWLA 16th Annual Logging Symposium. 4 - 7 June, 1975.

3. C.C.Minh, P.Sundararaman. *Nuclear-magnetic-resonance petrophysics in thin sand/shale laminations*. Society of Petroleum Engineers. 2011; 16(2): p. 223 - 238.
4. Chanh Cao Minh, Jean-Baptiste Clavaud, Padmanabhan Sundararaman, Serge Froment, Emmanuel Caroli, Olivier Billon, Graham Davis, Richard Fairbairn. *Graphical analysis of laminated sand-shale formations in the presence of anisotropic shales*. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts. 2008; 49(5).
5. Chanh Cao Minh, Isabel Joao, Jean-Baptiste Clavaudand, Padmanabhan Sundararaman. *Formation evaluation in thin sand/shale laminations*. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, California, U.S. 11 - 14 November, 2007.
6. Stanley Oifoghe. *Identifying and quantifying hydrocarbons in low resistivity pay zones - Challenges and solution*. Baker Hughes.
7. M.C.Leverett. *Capillary behavior in porous solids*. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers (AIME). 1941; 142(1): p. 152 - 169.
8. Piyapa Dejtrakulwong. *Rock physics and seismic signatures of sub-resolutionsand-shale systems*. Stanford University. 2012.
9. STN Oligocene E petrophysical analysis of Cuu Long JOC. 2016.
10. Toby Darling. *Well logging and formation evaluation*. Elsevier. 2005.
11. Anil Kumar Tyagi, Rupdip Guha, Deepak Voleti, Kamlesh Saxena. *Challenges in the reservoir characterization of a laminated sand shale sequence*. 2nd SPWLA-India Symposium. 19 - 20 November, 2009.

Petrophysical interpretation methodology for thinly bedded sandstone

**Bui Thieu Son, Cao Huu Binh, Phung Van Hai
Nguyen Duc Dong, Phan Thanh Loi**
Petrovietnam Exploration Production Corporation
Email: haipv@pvep.com.vn

Summary

The article provides experience and methodology for petrophysical interpretation of thinly-bedded sandstone and low formation resistivity based on wireline, FMI, 3D induction resistivity, MDT/RCI, core samples and capillary pressure..

Key words: Wireline logging, thin bed, low resistivity, Thomas-Stieber, Tensor (3D induction resistivity), FMI, capillary pressure.