

SỬ DỤNG MÔ HÌNH TÁN XẠ SÓNG ÂM KUSTER-TOKSOZ ĐỂ ĐÁNH GIÁ ĐỘ RỖNG TRONG ĐÁ MÓNG NỨT NẼ TỪ TÀI LIỆU ĐỊA VẬT LÝ GIẾNG KHOAN

Hồ Trọng Long

Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 04 tháng 08 năm 2003)

TÓM TẮT: Các tầng chứa dầu móng nứt nẻ, độ rỗng thấp đã được phát hiện và được mô tả bằng cách kết hợp các tài liệu địa vật lý giếng khoan (carôta) có độ phân giải cao với phương pháp minh giải. Trong trường hợp này, các thiết bị carôta âm hay điện chụp ảnh lỗ khoan cho phép xác định trạng thái phân bố của nứt nẻ, xác định được độ mở của khe nứt và độ rỗng.

Tuy nhiên trong nhiều trường hợp thì những phương pháp chụp ảnh nêu trên thường đắt tiền và không kinh tế. Chính vì vậy bài báo này đưa ra một hướng nghiên cứu mới về việc đánh giá độ rỗng trong đá móng nứt nẻ từ tài liệu carôta âm truyền thống dựa vào mô hình tán xạ sóng âm Kuster-Toksoz.

1. MỞ ĐẦU

Ở thềm lục địa Nam Việt Nam, tầng chứa dầu móng là đối tượng hàng đầu. Tại bể Cửu Long, khoảng 90% sản lượng dầu khai thác hiện nay là từ tầng móng. Cho đến nay, việc nghiên cứu độ rỗng của đá chứa nứt nẻ trong tầng móng vẫn là một trong những vấn đề đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Độ rỗng không những biểu thị cho khả năng chứa của đá mà còn là một trong những thông số tối quan trọng trong công tác tìm kiếm thăm dò dầu khí.

Theo Areshev và nnk (1992), Trần Lê Đông và nnk (1999), Phan Trung Điền (2000) thì độ rỗng nứt nẻ và hang hốc là kết quả của sự phối hợp đồng thời, liên tục và đặc biệt của nhiều yếu tố cụ thể như co giảm thể tích khi macma đông cứng do nguội lạnh, các biến đổi do hoạt động kiến tạo, hòa tan do hoạt động thủy nhiệt,... liên quan đến nhiều loại hình khác nhau như nứt nẻ, khe nứt đứt gãy, hang hốc và hạt vụn bên trong các khe nứt.

Các phân tích cho thấy hầu hết các mạng khe nứt quan sát được trong đá móng Bạch Hổ đều không có quy luật, chúng không chỉ đa dạng về hình thái, kích cỡ, sự phân bố mà cả nguồn gốc, điều kiện phát sinh và bảo tồn của chúng. Do đó, việc nghiên cứu, phát hiện, phân loại và đánh giá chúng vô cùng khó khăn.

Việc xác định độ rỗng đá móng bằng phương pháp phân tích mẫu lõi, nghiên cứu lát mỏng bơm nhựa màu trong phòng thí nghiệm gặp nhiều khó khăn vì những lý do: mẫu thường được lấy lên từ những khoảng gắn chắc nhất của lát cắt, độ rỗng trong đá phân bố không đồng đều, các mẫu nghiên cứu trong phòng thí nghiệm thường cho giá trị nhỏ hơn trong đá và tính đại diện của mẫu thấp.

Độ rỗng trong móng thông thường có giá trị thấp, độ rỗng trung bình trong tầng móng mỏ Bạch Hổ thường nhỏ hơn 3%. Sự thay đổi các đặc tính của đá như mật độ, chỉ số hydrogen và sự nhiễm bẩn thành hệ do quá trình khoan ảnh hưởng rất lớn đến kết quả của tất cả các phương pháp carôta đo sườn nông đang được sử dụng hiện nay (như carôta điện,...), do đó các

số đọc này không chính xác. Mặt khác, trong đá chứa có cấu trúc không gian rỗng phức tạp thì sự lan truyền sóng đàn hồi trong đá biến đổi mạnh phụ thuộc vào dạng độ rỗng. Vận tốc sóng âm từ các thiết bị carôta âm ít nhạy cảm tới sự nhiễm bẩn thành hệ hơn các thiết bị carôta mật độ hay neutron. Hơn nữa, độ chính xác của carôta mật độ phụ thuộc rất nhiều vào mật độ của khung đá, mà giá trị này lại biến đổi khá phức tạp phụ thuộc vào thành phần của đá. Người ta quan sát tỉ số V_p/V_s và nhận thấy rằng trong khung đá (đá nguyên khối không nứt nẻ) thì nó là một hằng số và tỉ số này càng tăng khi có nứt nẻ. Do đó dựa vào sự suy giảm vận tốc sóng dọc và sóng ngang để đánh giá nứt nẻ là phương pháp đáng tin cậy và được trình bày chi tiết trong phần 4.

Gần đây, trong việc nghiên cứu sóng âm người ta còn dùng sóng Stoneley. Đối với những khe nứt lớn thì độ dài và độ mở của khe nứt có thể được xác định từ biên độ của sóng Stoneley.

2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH ĐỘ MỞ CỦA KHE NỨT

Các thiết bị carôta đo điện trở suất, đặc biệt là thiết bị DLL (Dual Laterolog Resistivity tool) của Schlumberger đã được dùng để đánh giá nứt nẻ và tính độ rỗng cho móng. Thiết bị này cho phép đo điện trở suất của đất đá theo 3 cách: đo sườn sâu (deep laterolog) cho phép dòng điện xâm nhập đến độ sâu 10ft (3m) hoặc nhiều hơn trong thành hệ, đo sườn nông (shallow laterolog) cho phép dòng điện xâm nhập đến độ sâu 3-6ft (1-2m) trong thành hệ, MicroSFL (Microspherically focused log) đo điện trở suất của các lớp nằm ngang.

Boyardieu và Winchester đã đưa ra công thức tính độ rỗng trong đá nứt nẻ (ϕ_{frac}) từ sự khác biệt về độ dẫn giữa kết quả đo sườn nông và sâu:

$$\Delta C = C_{LLs} - C_{LLd} = (\phi_{frac})^{m_{frac}} C_m \quad (1)$$

Trong đó, C_{LLs} và C_{LLd} lần lượt là độ dẫn tương ứng khi đo sườn nông và sâu, đơn vị S/m , C_m là độ dẫn của mùn khoan (khi mùn khoan xâm nhập vào các khe nứt), đơn vị S/m , và m_{frac} là hệ số Archie thành hệ đặc trưng ô mạng khe nứt (thông thường $m_{frac} \approx 1.4$).

Sibbit và Faivre sau đó đã phát biểu rằng giá trị ΔC tỷ lệ với độ mở của khe nứt (ϵ) và đối với các khe nứt dài thẳng đứng thì:

$$\Delta C = 4.10^{-7} \cdot \epsilon \cdot C_m \quad (2)$$

Đơn vị của ϵ là μm . Đối với các khe nứt ngang thì sử dụng công thức:

$$C_{LLd} - C_b = 12.10^{-8} \cdot \epsilon \cdot C_m \quad (3)$$

Trong đó, C_b là độ dẫn của đá nguyên khối (không nứt nẻ).

Trong trường hợp số lượng nhiều các khe nứt có góc nghiêng lớn đến thẳng đứng, phương trình (2) thường được dùng để tính độ mở của khe nứt. Ngược lại, phương trình (3) sẽ cho kết quả chính xác hơn.

Tuy nhiên, theo nhiều kinh nghiệm cho thấy số đọc của C_{LLs} là không chính xác bởi vì thang đo của thiết bị là hữu hạn, chịu nhiều ảnh hưởng của trạng thái kỹ thuật giếng khoan và độ nhiễm bẩn thành hệ, đặc biệt là khi R_T/R_m cao.

Do đó, Faivre đã phát triển phương pháp trên với thiết bị ARI (Azimuthal Resistivity Imager) của Schlumberger, mô tả một cách đầy đủ hơn về ảnh hưởng độ nghiêng của khe nứt và đưa ra công thức:

$$\epsilon = \frac{a \cdot AAC^b}{C_b^c \cdot C_m^{1-c}} \quad (4)$$

Trong đó, AAC là vùng dị thường về độ dẫn do khe nứt ($S/m.m$) (xem hình 2), a, b và c là các hằng số ($b \approx 1$ và c rất nhỏ).

Phương trình (4) rất giống với công thức của Luthi và Souhaité cho thiết bị FMS (Formation MicroScanner tool) hay FMI (Formation MicroImager tool) của Schlumberger. Trạng thái phân bố của các khe nứt cắt ngang thành lỗ khoan được đánh giá khá tốt dựa vào phân tích ảnh lỗ khoan cho bởi những thiết bị này từ workstation. Sự phân bố của các khe nứt và độ mở của chúng được tính tương tự như trên cho phép ta xác định độ rỗng nứt ϕ_{frac} . Nhưng trên thực tế cho thấy giá trị ϕ_{frac} tính theo phương pháp này vẫn chưa hoàn toàn thuyết phục.

Các thiết bị cho ảnh sóng âm cũng được sử dụng để xác định dạng hình học của khe nứt, tuy nhiên các thiết bị này cũng chỉ cho số đọc ở rất nông trong sườn lỗ khoan và chịu ảnh hưởng mạnh mẽ bởi trạng thái kỹ thuật giếng khoan. Ta có thể nhận thấy các ảnh thể hiện biên độ và thời gian truyền sóng được quan sát bởi những televiwer và các thiết bị quét sóng âm khác đều là những ảnh của bề mặt sườn lỗ khoan.

Các thiết bị quét điện (Electrical scanning) như FMI cho phép ta quan sát sâu hơn trong thành hệ so với các thiết bị quét sóng âm (Acoustic scanning). Khi chúng ta xét một khe nứt từ kết quả của thiết bị đo điện (FMI chẳng hạn), nó phụ thuộc vào biên độ của dị thường độ dẫn. Mối quan hệ giữa độ mở khe nứt, độ dẫn mìn khoan với độ dẫn của đá nguyên khối được thể hiện bằng công thức:

$$\varepsilon \cdot C_m \approx 10 \cdot (\text{beam-width}) \cdot C_b \quad (5)$$

Trong đó, beam-width là 0,5cm đối với FMI, 15cm đối với đo sườn lỗ khoan độ phân giải cao (ARI) và 90cm đối với đo sườn sâu hay nông.

3. NGHIÊN CỨU KHE NỨT TRÊN MÔ HÌNH SỬ DỤNG THIẾT BỊ DLL (DUAL LATEROLOG RESISTIVITY TOOL)

Alan M. Sibbit đã thực hiện một số phép đo bằng thiết bị DLL trên mô hình đá móng có khe nứt để đánh giá độ tin cậy của các phương pháp trên và thu được các kết quả như sau.

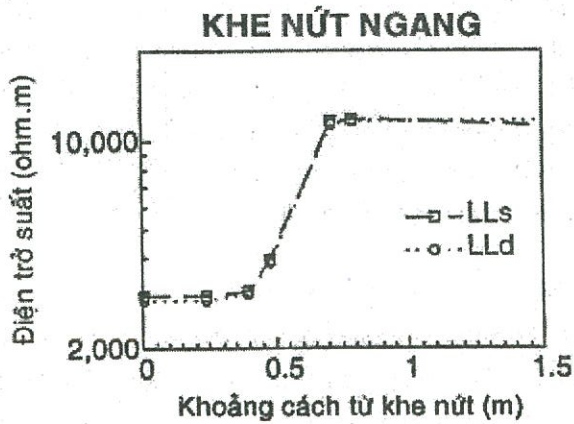
Hình 1 biểu diễn mối quan hệ của các đường LLs, LLd thu được từ thiết bị DLL trên mô hình có một khe nứt ngang, độ mở $50\mu\text{m}$, khe nứt này bị mìn khoan xâm nhập có điện trở $0,1 \text{ ohm.m}$. Điện trở suất của khối đá còn lại trong thành hệ không nứt nẻ là 10.000 ohm.m . Khoảng dị thường trên đường cong (đoạn đường cong không nằm ngang) là do ảnh hưởng của khe nứt này và nằm trong khoảng gần 90cm .

Trên hình 2, sự lựa chọn diện tích vùng nằm dưới đường cong của độ dẫn chính là vùng dị thường về độ dẫn do khe nứt (AAC) được sử dụng để tính cho phương trình (4).

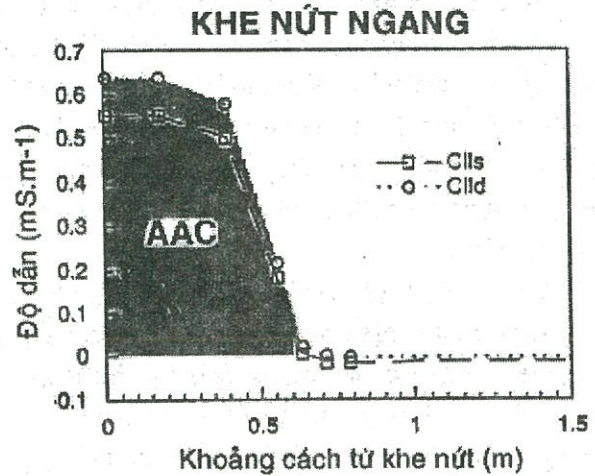
Hình 3 cho thấy một khe nứt ngắn thẳng đứng có độ mở $50\mu\text{m}$, với điện trở suất của mìn khoan và thành hệ tương tự như trên. Sự xuất hiện của dị thường tương tự như ở hình 1. Rõ ràng là không có sự khác biệt nhiều giữa đo sườn nông và sâu, do đó phương trình (1), (2) sẽ đánh giá thấp giá trị độ rỗng nứt nẻ và độ mở của khe nứt, sử dụng phương trình (4) sẽ cho kết quả tốt hơn.

Khe nứt trong hình 3 dài khoảng 1m và bề rộng của khoảng gây dị thường xấp xỉ $1,9\text{m}$. Một khe nứt dài thẳng đứng được thể hiện trong hình 4. Tại trung tâm của khe nứt, các đường đo sườn nông và sâu (LLs và LLd) tách biệt lớn nhất.

Như vậy, để tính độ mở của khe nứt ta có thể dùng phương trình (3) và hình 5 hoặc phương trình (4) và hình 2. Các kết quả này là chấp nhận được theo như mô hình đã thí nghiệm.

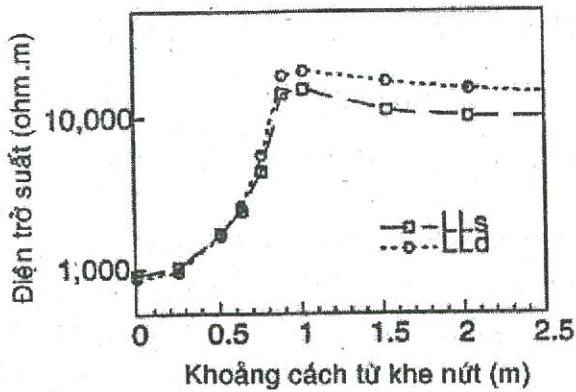


Hình 1: Mô hình DLL do một khe nứt ngang độ mở $50\mu\text{m}$ được lấp đầy bởi mùn khoan $0,1\text{ ohm.m}$ trong thành hệ 10.000 ohm.m .



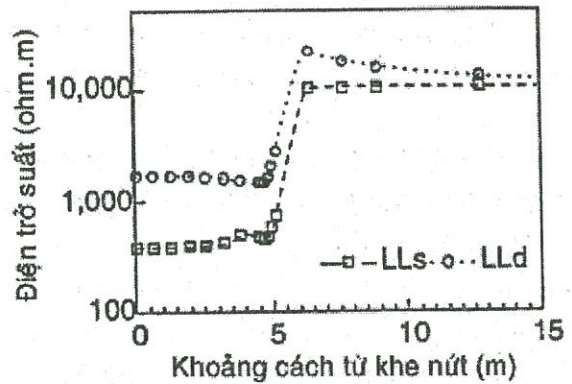
Hình 2: Dị thường độ dẫn gây ra do một khe nứt ngang trong mô hình thành hệ như hình 1.

KHE NỨT NGẮN THẲNG ĐỨNG (1m)



Hình 3: Khe nứt ngắn thẳng đứng dài 1m, độ mở $50\mu\text{m}$, so sánh với khe nứt ngang trong hình 1.

KHE NỨT DÀI THẲNG ĐỨNG (10m)



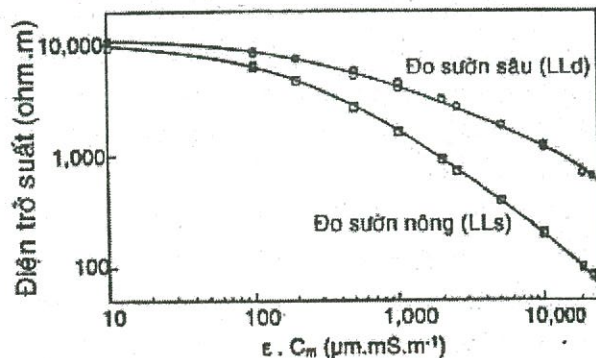
Hình 4: Khe nứt thẳng đứng dài 10m, độ mở $50\mu\text{m}$.

4. ĐÁNH GIÁ ĐỘ RỠNG TRONG ĐÁ MÓNG NỨT NẸ TỪ VẬN TỐC SÓNG DỌC (VP) VÀ NGANG (VS)

Brie và nnk đã sử dụng mô hình tán xạ sóng âm để tìm hiểu sự biến đổi của sóng dọc và sóng ngang trong đá vôi với hệ số độ rỗng. Phương pháp của họ đã tiếp cận được một phần nhỏ trong việc xác định độ rỗng của đá nứt nẻ, đặc biệt là trong đá magma

và biến chất. Hình dạng và sự phân bố lỗ rỗng ảnh hưởng rất lớn đến vận tốc sóng âm, chúng ta có thể phân loại hình dạng lỗ rỗng dựa vào kích thước của chúng. Các khe nứt được mô tả như một elipxôit

CÁC KHE NỨT DÀI THẲNG ĐỨNG



Hình 5: Biểu đồ tính toán độ mở của khe nứt trong các khe nứt thẳng đứng.

(hình đĩa), trong đó tỉ số biến dạng $\alpha=b/a$ nhỏ hơn 1 nhiều lần và được xem như là tỉ số giữa độ mở của khe nứt và chiều dài khe nứt. Trong đá móng, các khe nứt được tách rời ra sẽ có hệ số α rất nhỏ, khoảng từ 0,001 đến 0,01, trong khi ở một số vùng khe nứt trong đá cuội kết thì tỉ số này là 0,1.

Khác với Brie, chúng ta sử dụng mô hình của Berryman cho sự tán xạ sóng âm từ các elipxôit trong một khối đàn hồi trung bình. Tại những khoảng tần số sóng âm nhỏ hơn 10kHz có bước sóng lớn hơn nhiều lần so với kích thước lỗ rỗng nên dựa vào sóng âm có tần số thấp này ta có thể quan sát đặc điểm tán xạ sóng âm trung bình trong thành hệ có các dạng nứt nẻ khác nhau. Tần số của sóng địa chấn có bước sóng luôn lớn hơn độ dài trung bình của khe nứt nên cũng có thể được dùng để tính toán trong trường hợp này.

Trước hết, chúng ta lập mô hình đá nứt nẻ, các khe nứt có hệ số biến dạng α được đặt trong một khối đá móng hình lập phương. Các khe nứt được xem như là một hình elipxôit được lấp đầy chất lưu. Khối đá được mô tả bởi vận tốc sóng dọc (V_p) và vận tốc sóng ngang (V_s) và mật độ ρ . Các công thức tính toán môđun dịch chuyển và môđun nén (giãn) khối của khối đá nứt nẻ này có thể được xác định theo sự tính toán của Berryman.

Đối với độ rỗng trong đá nguyên khối (không nứt nẻ) cũng như độ rỗng giữa các hạt (như trong cuội kết) thì thời khoảng sóng dọc đều được tính theo công thức của Wyllie:

$$1/V_p = \Delta t_p = (1-\phi) \Delta t_b + \phi \Delta t_f \quad (6)$$

Trong đó, ϕ là độ rỗng của đá nguyên khối, Δt_f là thời khoảng sóng đi qua chất lưu thành hệ, Δt_b là thời khoảng sóng đi qua đá. Tỉ số quan hệ sau của Pickett cũng được áp dụng cho đá nguyên khối:

$$V_p/V_s = \Delta t_s/\Delta t_p = \text{hằng số} \quad (7)$$

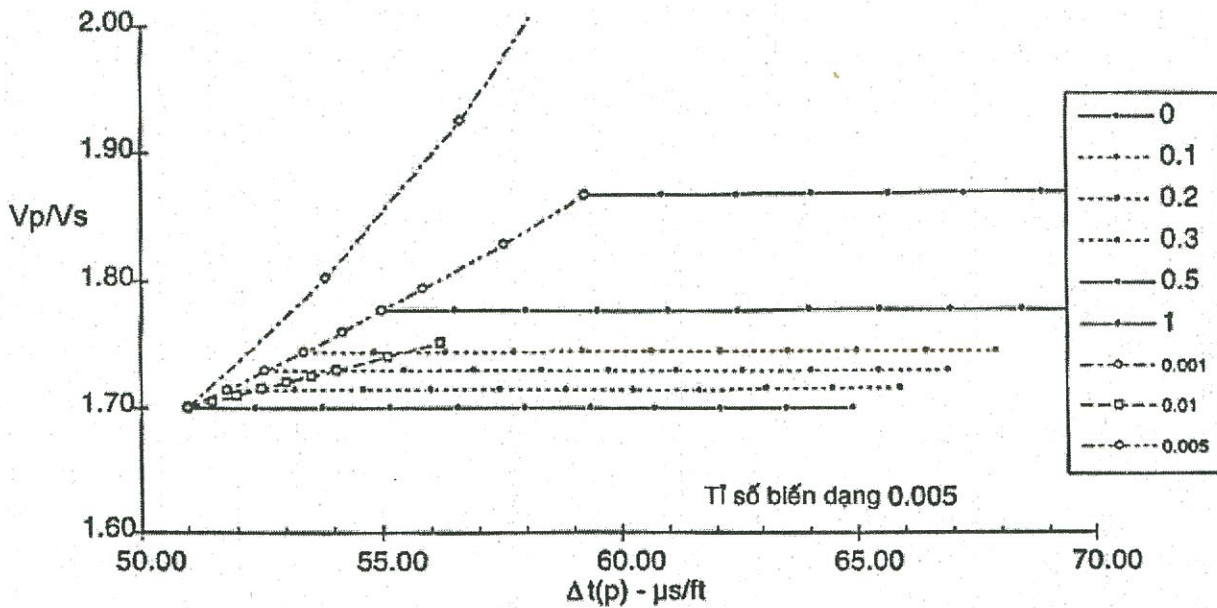
Mật độ của đá nứt nẻ được tính theo công thức:

$$\rho = (1-\phi) \rho_b + \phi \rho_f \quad (8)$$

Trong đó, ρ_f là mật độ của chất lưu và ρ_b là mật độ của đá. Sử dụng phương trình (6), (7), và (8) chúng ta biểu diễn được sự biến đổi của vận tốc sóng âm, V_p và V_s , và mật độ ρ với độ rỗng. Modul nén (giãn) khối và modul dịch chuyển của đá được tính theo phương trình (9) và (10):

$$K_b = \rho V_p^2 \left(1 - \frac{4V_s^2}{3V_p^2} \right) \quad (9)$$

$$G_b = \rho V_s^2 \quad (10)$$

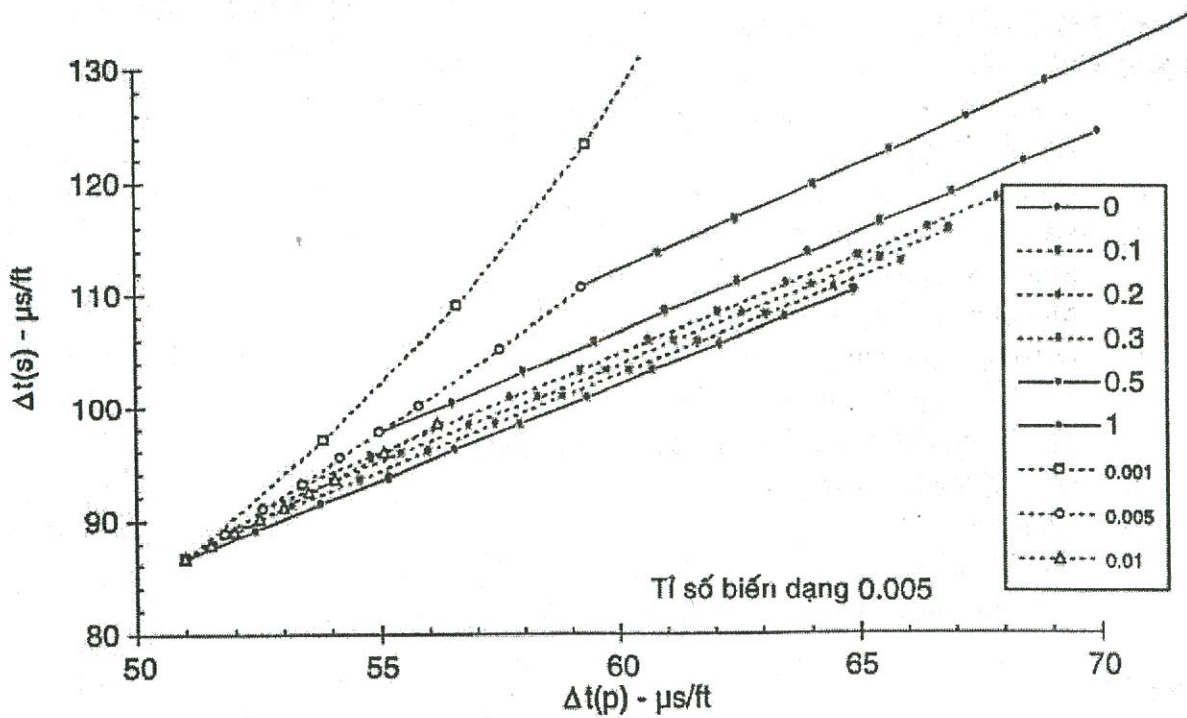


Hình 6: Tỉ số V_p/V_s tăng do độ rỗng nứt nẻ, các đường cong tương ứng với tỉ số biến dạng α của khe nứt (phát triển từ mô hình Kuster-Toksoz).

Các kết quả do nhiều yếu tố tác động lên thời khoảng sóng dọc và sóng ngang được thể hiện trên hình 6 và 7. Trên hình vẽ, các vòng tròn đen được đặt cách nhau một khoảng tương ứng với độ rỗng 1% và đại diện cho sự gia tăng của độ rỗng đá nguyên khối (không nứt nẻ) cũng như độ rỗng thường giữa các hạt trầm tích. Các đường thẳng nối những điểm này đại diện cho sự phân chia của độ rỗng nứt nẻ. Tỉ số biến dạng α là tỉ số giữa trục phụ và trục chính của elipxôit khe nứt (có nghĩa là độ mở của khe nứt chia cho chiều dài khe nứt). Quan sát kết quả minh giải của phương pháp FMI chúng ta chọn tỉ số là 0,005. Ngoài ra ta có thể chọn $\alpha=0,001$ và $\alpha=0,01$. Đặc tính của đá được sử dụng trong hình 6 và 7 là thời khoảng sóng dọc 51 $\mu\text{s}/\text{ft}$ và tỉ số thời khoảng 1,7. Chúng ta có thể đối chiếu so sánh với biểu đồ đo được trên một giếng kiểm tra, hình 8. Dữ liệu của hình 8 rất phù hợp với mô hình trong hình 7.

Qua việc đối sánh với biểu đồ $\Delta t_s - \Delta t_p$ ở nhiều giếng khoan khác nhau trong móng, chúng ta nhận thấy rằng mô hình của hình 7 là tin cậy. Và qua đó cũng đã chứng minh khá rõ ràng rằng các mô hình sóng âm của Wyllie, Pickett là "không phù hợp cho đá móng nứt nẻ".

Tóm lại, qua việc chúng ta đo V_p và V_s trong vùng độ rỗng thấp và chọn một giá trị thích hợp của tỉ số biến dạng α , từ các giá trị thời khoảng sóng dọc và sóng ngang chúng ta xác định được cả độ rỗng thường và độ rỗng nứt nẻ.



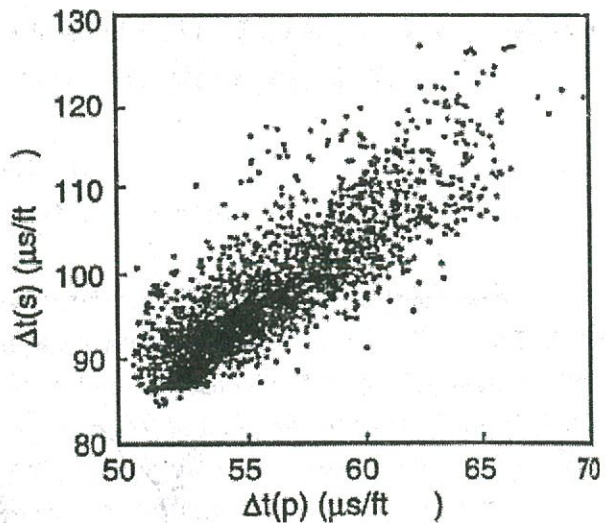
Hình 7: Quan hệ thời khoảng sóng dọc và sóng ngang là một hàm số, phụ thuộc vào độ rỗng thường hay độ rỗng nứt nẻ, phát triển từ mô hình tán xạ sóng âm Kuster-Toksoz.

5. KẾT LUẬN

Các đường cong carôta sóng âm tần số thấp là đáng tin cậy để đánh giá độ rỗng nứt nẻ trong đá móng. Tần số sóng âm thấp sẽ làm giảm thiểu độ nhạy cảm của các đường cong carôta đến điều kiện thân giếng vốn ảnh hưởng rất mạnh đến kết quả đo carôta bằng phương pháp quét ảnh điện hay ảnh sóng âm.

Kết hợp với phương pháp dựa vào sóng Stoneley để xác định độ thấm và độ mở của khe nứt, phương pháp này dựa vào thời khoảng sóng dọc và sóng ngang có thể tính được cả độ rỗng thường (giữa các hạt) và độ rỗng nứt nẻ. Một ưu điểm nữa của phương pháp này là có thể sử dụng được cho cả sóng địa chấn.

Giả thiết trong phương pháp này là trong đá móng nứt nẻ, các dạng lỗ rỗng ảnh hưởng chủ yếu đến giá trị thời khoảng sóng dọc và sóng ngang, và tỉ số α được chọn trong những



Hình 8: Biểu đồ quan hệ thời khoảng sóng ngang theo thời khoảng sóng dọc trên một khoảng đá móng nứt nẻ. Các khe nứt có tỉ số biến dạng nhỏ tập trung ở vùng có độ rỗng thấp.

tỉ số biến dạng điển hình. Mặt khác, tỉ số α này cũng có thể xác định được từ các thiết bị DLL, ARI, FMI hay FMS khá chính xác.

Đại lượng và ý nghĩa

AAC	=	Vùng dưới đường cong độ dẫn đo sườn lỗ khoan, S.
C	=	Độ dẫn, S/m.
ΔC	=	Hiệu số độ dẫn, S/m ($C_{LLs} - C_{LLd}$).
m	=	Hệ số Archie thành hệ.
K	=	Modul nén (giãn) khối, GPa.
G	=	Modul dịch chuyển, GPa.
R	=	Điện trở suất, ohm.m.
V	=	Vận tốc sóng âm, km/s.
α	=	Tỉ số biến dạng của khe nứt (độ mở/chiều dài)
ϵ	=	Độ mở của khe nứt, μm
ϕ	=	Độ rỗng
ρ	=	Mật độ, g/cm ³
Δt	=	Thời khoảng sóng âm, $\mu s/ft$, ($\Delta t=304,8/V$)

Ký hiệu

b	=	Đặc tính đá nguyên khối, không nứt nẻ.			
f	=	Chất lưu.	LLhr	=	Đo sườn sâu độ phân giải cao.
frac	=	Khe nứt.	m	=	Mùn khoan.
LLs	=	Đo sườn nông.	p	=	Sóng dọc hay sóng chính
LLd	=	Đo sườn sâu.	s	=	Sóng ngang hay sóng phụ

USING THE KUSTER-TOKSOZ ACOUSTIC SCATTERING MODEL TO ESTIMATE POROSITY IN BASEMENT RESERVOIRS

Ho Trong Long

University of Technology – VNU-HCM

ABSTRACT: *Low porosity fractured reservoirs have been successfully described using a combination of high resolution geometrical information from borehole images together with deeper penetrating log evaluation methods. Borehole images from acoustic or electrical scanning tools provide statistics of fracture distribution, first order estimates of fracture opening and porosity, and a basis for geological inference.*

By making some assumptions about the nature of the porosity in basement reservoirs we develop a new method to estimate the porosity and the fraction of this porosity due to fractures. This method makes use of the Kuster-Toksoz acoustic scattering model and requires low frequency measurements of compressional and shear velocities.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ARESHEV, E.G., TRAN LE DONG, NGO THUONG SAN, SHNIP, O.A. *Reservoirs in fractured basement, offshore Southern Vietnam*, Journal of Petroleum Geology, Vol.15(4), October 1992.

-
- [2] *OpenHole Log Evaluation*, Schlumberger, 1996.
- [3] ALAIN BRIE, *New sonic measurements and applications to formation evaluation*, Schlumberger, 1995.
- [4] NELSON, R.A. *An approach to evaluating fractured reservoirs*, Journal of Petroleum Technology, September 1982.
- [5] KOERPERICH, E.A. *Investigation of Acoustic Boundary Waves and Interference Patterns as Techniques for Detecting Fractures*, Journal of Petroleum Technology, 1978.
- [6] MORRIS, R.L., GRINE, D.A., ARKFELD, T.E. *Using Compressional and Shear Acoustic Amplitudes*, Journal of Petroleum Technology, 1964.
- [7] LUTHI S.M., SOUHAITE P. *Fracture apertures from electrical borehole scans*, Geophysics, Vol. 55, 1990.