TẠP CHÍ DẦU KHÍ
Số 9 - 2020, trang 30 - 39
ISSN 2615-9902

XÁC ĐỊNH ÁP SUẤT VỈA TRONG QUÁ TRÌNH KHOAN THEO NĂNG LƯỢNG RIÊNG CƠ HỌC VÀ HIỆU SUẤT KHOAN

Nguyễn Văn Hùng, Lương Hải Linh, Lê Minh Hiếu, Nguyễn Tùng Quân
Đại học Dầu khí Việt Nam
Email: hungnv@pvu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu DEMSE - phương pháp mới trong việc xác định áp suất vỉa theo thời gian thực phục vụ cập nhập hoặc hiệu chỉnh thiết kế giếng khoan. Phương pháp này là sự kết hợp các thông số vận hành khoan (moment xoắn, tốc độ khoan cơ học, tốc độ xoay, tải trọng lên choòng) và hiệu suất khoan (DE); dựa trên cơ sở năng lượng riêng cơ học (MSE) hay năng lượng cần thiết để phá một đơn vị thể tích đá và chênh áp suất (hiệu số giữa áp suất đáy giếng và áp suất lỗ rỗng). Bằng cách xem xét cả moment xoắn và thông số cơ học, DEMSE khắc phục được nhược điểm của phương pháp hệ số mũ - chỉ xem xét ảnh hưởng của tải trọng lên choòng, tốc độ xoay, tốc độ khoan cơ học. Kết quả nghiên cứu chứng minh DEMSE có ưu điểm hơn so với phương pháp hệ số mũ khi tính toán áp suất vỉa và cho kết quả phù hợp so với phương pháp sử dụng dữ liệu địa vật lý giếng khoan.

Từ khóa: Áp suất vỉa, năng lượng riêng cơ học, hệ số mũ, hiệu suất khoan.

1. Giới thiệu

Xây dựng/lập kế hoạch khoan giếng là nhiệm vụ chính của các kỹ sư khoan dầu khí và yêu cầu có dữ liệu liên quan tới địa chất, địa vật lý. Để đảm bảo quá trình khoan diễn ra an toàn, áp suất lòng giếng trong quá trình khoan đòi hỏi phải nằm trong khoảng áp suất vỉa và áp suất nứt vỉa. Trong trường hợp áp suất trong lòng giếng thấp hơn áp suất vỉa, có thể gây hiện tượng xâm nhập khí vào lòng giếng (kick) hoặc phun trào (blow-out) hay sập lở thành hệ; trong trường hợp ngược lại có thể gây vỡ vỉa gây mất dung dịch khoan. Do vậy, áp suất vỉa và áp suất nứt vỉa được coi là 2 thông số quan trọng nhất cho việc lập kế hoạch khoan và dự kiến triển khai chiến dịch khoan. Ngoài ra, việc dự báo khu vực hay độ sâu có khả năng xuất hiện áp suất dị thường cũng là yếu tố quan trọng trong quá trình xây dựng kế hoạch khoan.

Các phương pháp dự báo áp suất vỉa cũng như độ sâu xuất hiện áp suất vỉa dị thường được chia thành 3 nhóm: Phương pháp dự báo, tính toán và kiểm tra. Để không gây gián đoạn trong quá trình khoan, việc xác định thông tin áp suất lỗ rỗng trên cơ sở thông số vận hành khoan là rất cần thiết. Việc xác định áp suất lỗ rỗng trên cơ sở thông số vận hành khoan có thể giúp hạn chế rủi ro (hỏng thiết bị cảm ứng, mất dữ liệu,…) trong khi khoan so với các phương pháp xác định áp suất lỗ rỗng trực tiếp đồng thời giúp giảm chi phí khoan [1, 2].

Một trong những phương pháp triển vọng đang được nghiên cứu là DEMSE, thuật ngữ bắt nguồn từ tổ hợp "Năng lượng riêng cơ học, MSE - mechanical specific energy" và "Hiệu suất khoan, DE - drilling efficiency". Phương pháp này chủ yếu sử dụng các thông số khoan bề mặt để xác định áp suất lỗ rỗng. Trên thế giới, kết quả của phương pháp DEMSE cũng đã được so sánh với giá trị áp suất lỗ rỗng từ phương pháp d-exponent (dXc) cổ điển. Không giống như phương pháp dXc (chỉ xem xét tải trọng lên choòng, WOB - weight on bit), DEMSE là một phương pháp dựa trên năng lượng có tính đến cả moment xoắn và WOB. Hơn nữa, dữ liệu đường xu hướng nén bình thường (normal trend) sử dụng trong phương pháp DEMSE tương quan với đường xu hướng nén độ rỗng thông thường. Điều này khiến phương pháp DEMSE có lợi thế đáng kể so với phương pháp dXc, đó là khả năng dự báo bằng cách giảm tính chủ quan liên quan đến xác định áp suất lỗ rỗng dựa trên dXc [3]. Ngoài ra, phương pháp mới này còn cho phép tính toán áp suất vỉa theo thời gian thực, không cần dừng khoan để thực hiện đo địa vật lý giếng khoan.

Tiếp theo nghiên cứu về áp suất nứt vỉa đã được giới thiệu trước đây [4], nhóm tác giả giới thiệu các phương pháp xác định áp suất vỉa trong quá trình khoan theo năng lượng riêng cơ học và hiệu suất khoan.

Ngày nhận bài: 27/4/2020. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 28/4 - 21/5/2020.
Ngày bài báo được duyệt đăng: 13/8/2020.

2. Cơ sở lý thuyết

Các phương pháp để tính toán áp suất vỉa có thể chia thành các nhóm cơ bản sau: Phân tích từ dữ liệu địa chấn, phân tích đường log trong địa vật lý giếng khoan và ước lượng khảo sát theo thời gian thực thông qua thông số khoan.

Nguồn thông tin và dữ liệu được sử dụng trong tính toán áp suất vỉa với độ chính xác tăng dần được thể hiện theo thứ tự: (1) Dự đoán (các thông số: mô hình hóa bồn trũng, khảo sát địa vật lý ở bề mặt, địa chấn, đo trọng lực, biểu đồ lỗ khoan xa bờ; (2) Phát hiện (các thông số: chỉ số đo trong khi khoan, LWD (logging while drilling/đo log trong khi khoan), PWD (pressure while drilling/giá trị áp suất trong khi khoan), dữ liệu log bề mặt; (3) Đo lường (cơ sở: biểu đồ lỗ khoan, kiểm tra thành hệ, kiểm tra bộ dụng cụ khoan).

Dù lựa chọn bất kỳ mô hình nào, việc xác định áp suất vỉa cần đảm bảo: Khoan an toàn, ổn định thân giếng, lựa chọn giàn khoan, thiết kế và lựa chọn mùn khoan, tránh các sự cố do áp suất dị thường.

2.1. Áp suất vỉa

Áp suất vỉa (pore pressure) (còn gọi là áp suất lỗ rỗng) là áp suất của chất lưu trong các lỗ rỗng của vỉa (đất, đá), thường là áp suất thủy tĩnh hay áp suất cột nước từ độ sâu thành hệ đến mặt thoáng (mực nước ngầm hoặc mặt biển), đôi khi có ngoại lệ như trường hợp áp suất dị thường [5]. Áp suất vỉa ở một độ sâu nhất định thể hiện giá trị trung bình của áp suất vỉa trong một không gian lỗ rỗng được liên kết với nhau, giá trị này bằng giá trị áp suất thủy tĩnh được đo từ bề mặt trái đất [6]. Tuy nhiên, với loại đá không thấm như đá phiến sét, chất lưu trong lỗ rỗng khó thoát ra ngoài và dưới điều kiện chịu áp lực nén dẫn đến tăng thêm áp suất trong đá. Do trong quá trình dầu, khí được khai thác từ vỉa, áp suất vỉa thay đổi, giá trị áp suất phải được đo và khảo sát theo thời gian, được gọi là áp suất vỉa tức thời.

Phần lớn trong tính toán áp suất vỉa không tính toán tới hiệu ứng động và hiệu ứng nhiệt độ với lý do ảnh hưởng nhỏ và khó xác định. Do đó, công thức tổng quát là (1) và (2) được sử dụng trong các hệ đơn vị khác nhau khi tính toán áp suất vỉa:

$$PF = \frac{df \times L}{10} \quad (1)$$

Trong đó:

PF: Áp suất vỉa (kg/cm^2);

df: Khối lượng riêng (g/cc);

L: Chiều sâu thẳng đứng thực (m).

$$PF = 0{,}052 \times df \times L \quad (2)$$

Trong đó:

PF: Áp suất vỉa (psi);

0,052: Hệ số quy đổi đơn vị;

df: Khối lượng riêng (ppg);

L: Chiều sâu thẳng đứng thực (ft).

Trong khoan dầu khí, áp suất vỉa chỉ có thể đo trực tiếp sau khi quá trình khoan kết thúc bằng phương pháp RFT (Repeat Formation Tester). Tuy nhiên, trong quá trình khoan kỹ sư thường sử dụng công thức (1) hoặc (2) để xác định áp suất vỉa. Thực tế, áp suất vỉa suy giảm trong quá trình khai thác hay đời mỏ, vì vậy việc xác định hay so sánh mô phỏng sự suy giảm áp suất vỉa (depletion) cần được làm thường xuyên. Đối với công tác khoan, áp suất vỉa được xác định cụ thể cho giếng đó và là cơ sở dữ liệu để cập nhật áp suất vỉa, phục vụ công tác cập nhật hay phân tích hiện tượng suy giảm áp suất vỉa tại khu vực mỏ khai thác.

Bảng 1 tổng hợp một số giá trị tham khảo gradient áp suất vỉa của một số khu vực trên thế giới và Việt Nam.

2.2. Xác định áp suất vỉa bằng phương pháp truyền thống

2.2.1. Phương pháp hệ số mũ

Phương pháp này có tên gọi khác là d-exponent, được

Bảng 1. *Gradient áp suất vỉa*

Địa điểm	Gradient áp suất vỉa (psi/ft)	Khối lượng riêng (g/cm^3)
Bể Anadarko	0,433	1,000
California	0,439	1,014
Vịnh Mexico	0,465	1,074
Mackenzie Delta	0,442	1,021
Malaysia	0,442	1,021
Biển Bắc	0,052	1,044
Rocky Mountain	0,436	1,007
Đông Africa	0,442	1,021
Đông Texas	0,433	1,000
Bể Cửu Long	0,530 - 0,707	1,900

đề xuất dựa trên phương trình (3) của Bingham (1965) và phát triển để xem xét hiệu ứng chênh lệch áp suất trong việc bình thường hóa tỷ lệ thâm nhập.

$$ROP = K \times RPM(\frac{WOB}{d_b})^{d_{exp}} \quad (3)$$

Trong đó:

K: Hằng số độ cứng của đá;

d_b: Đường kính choòng khoan (in);

RPM: Vận tốc quay (vòng/phút);

ROP: Tốc độ khoan $(\frac{ft}{hr})$;

WOB: Tải trọng lên choòng (lbf).

Jorden and Shirley (1966) đã phát triển dựa trên phương trình Bingham và phương trình (3) trở thành:

$$d_{exp} = \frac{log\,(\frac{ROP}{60RPM})}{log\,(\frac{12WOB}{d_b})} \quad (4)$$

Rehm và McClendon (1971) đã sửa đổi phương trình Jorden & Shirley, đưa vào tỷ trọng dung dịch khoan, được biểu diễn ở phương trình (5):

$$d_{Xc} = d_{exp}\frac{\rho_n}{\rho_e} \quad (5)$$

Trong đó:

ρ_n: Tỷ trọng dung dịch khoan ở ứng suất bình thường (ppg);

ρ_e: Tỷ trọng dung dịch tuần hoàn tương đương (ppg).

Cuối cùng áp suất vỉa được tính toán bằng phương trình (6):

$$p = d_{exp}\frac{dXc,n}{dXc}p_n \quad (6)$$

Trong đó:

dXc,n: Giá trị dXc sau khi hiệu chỉnh theo đường trendline;

p_n: Áp suất bình thường;

p: Áp suất lỗ rỗng.

2.2.2. Xác định áp suất lỗ rỗng từ dữ liệu log

Hottmann (1965) và Zhang (2011) dự báo áp suất lỗ rỗng từ các tính chất đá phiến có nguồn gốc từ dữ liệu logs (thời gian di chuyển/vận tốc âm và điện trở suất). Gardner (1974) đề xuất phương trình (7) để dự đoán áp suất lỗ rỗng:

$$P_f = \sigma_v - \frac{(\alpha_v - \beta)(A_1 - B_1 ln\Delta t)}{Z^2} \quad (7)$$

Trong đó:

P_f: Áp suất chất lưu thành hệ (psi);

α_v: Gradient ứng suất dị thường dương $(\frac{psi}{ft})$;

β: Gradient áp suất dung dịch bình thường $\left(\frac{psi}{ft}\right)$;

A = 82.779, B = 15.695;

σ_v: Ứng suất thẳng đứng (psi);

Δ_t: Thời gian truyền $(\mu\frac{s}{ft})$;

Z: Chiều sâu (ft).

2.2.3. Xác định từ log điện trở

Log điện trở suất ban đầu được sử dụng để nghiên cứu áp suất; phản hồi của log dựa trên điện trở suất của toàn bộ mẫu, bao gồm ma trận đá và độ rỗng chứa đầy chất lưu. Eaton (1972, 1975) đã trình bày phương trình (8) để dự báo độ dốc áp suất lỗ rỗng trong đá phiến sử dụng log điện trở suất [7]:

$$P_{pg} = OBG - (OBG - P_{ng})\left(\frac{R}{R_n}\right)^n \quad (8)$$

Trong đó:

P_{pg}: Gradient áp suất lỗ rỗng;

OBG: Gradient ứng suất dị thường dương;

P_{ng}: Gradient áp suất lỗ rỗng chứa đầy dung dịch;

R: Điện trở suất của sét từ dữ liệu giếng;

R_n: Điện trở suất của sét ở áp suất bình thường (áp suất thủy tĩnh).

2.2.4. Phương pháp Matthews

Năm 1970, Matthews đã công bố các nghiên cứu thảo luận về cách sử dụng dữ liệu log điện. Mục đích chính của nghiên cứu là áp dụng độ dẫn (conductivity) (hoặc điện trở suất, resistivity) trên độ sâu của các lớp địa chất xác định. Biểu đồ tổng thể của khu vực nghiên cứu đã được Matthews đưa ra từ các kết quả đo được của tác giả về đường xu hướng nén bình thường (normal compaction trendline). Đường xu hướng cho áp suất dị thường được xác định dựa vào C_{ob} (conductivity), với độ dẫn của áp suất thông thường C_n; tương tự như của phương pháp của Hottman và Johnson, Eaton.

2.2.5. Phương pháp Eaton

Eaton (1975) đã trình bày phương trình thực nghiệm (9) và (10) để dự đoán gradient áp suất lỗ rỗng từ thời gian truyền sóng âm:

$$P_{pg} = OBG - (OBG - P_{ng})\left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t}\right)^3 \quad (9)$$

$$P_{pg} = OBG - (OBG - P_{ng})\left(\frac{R}{R_n}\right)^3 \quad (10)$$

Trong đó:

Δt: Thời gian truyền sóng âm trong đá sét từ dữ liệu địa vật lý giếng khoan;

Δt_n: Thời gian truyền sóng âm trong đá sét ở áp suất bình thường.

2.2.6. Phương pháp Bower

Bowers (1995) đã tính toán các ứng suất hiệu dụng từ dữ liệu áp suất lỗ rỗng đo được của đá phiến sét. Áp suất lỗ rỗng có thể được tính theo phương trình (11) và (12) [8]:

$$P = \sigma_v - \left(\frac{V_p - V_{ml}}{A}\right)^{\frac{1}{B}} \quad (11)$$

$$V_p = V_{ml} - A\left(\sigma_{max\,(\sigma_e/\sigma_{max})}^{\frac{1}{U}}\right)^B \quad (12)$$

Trong đó:

U: Thông số đường hồi;

σ_{max}: Ứng suất hiệu dụng lớn nhất;

V_p: Vận tốc ở độ sâu cho trước;

σ_e: Ứng suất hiệu dụng thẳng đứng;

V_{ml}: Vận tốc ở bề mặt;

A, B: Hằng số.

Bảng 2 tổng hợp các phương pháp thông dụng có thể tham khảo khi tính toán áp suất vỉa.

Việc lựa chọn sử dụng mô hình trong Bảng 2 tùy thuộc vào giai đoạn của dự án là trước khi khoan, trong khi khoan hay đo đạc thực tế. Ngoài ra, thông số đầu vào có sẵn sẽ tương ứng với mô hình được liệt kê trong bảng. Mô hình Eaton và Matthews cho kết quả tương đối chính xác với loại đá có chứa sét hoặc xen kẹp sét. Trong khi đó các mô hình Jorden, Shirley (1966), Rehm, McClendon (1971) và Zamora được sử dụng cho toàn bộ loại đất đá.

Bảng 2. *Tổng hợp các phương pháp áp suất vỉa*

TT	Mô hình	Công thức	Thông số	TLTK
Kỹ thuật dự báo trước khi khoan				
1	Địa chấn	Phân tích đường xu hướng thời gian truyền và độ sâu tương đương	Thời gian truyền	[5]
2	Matthews (1971)	Xây dựng đường cơ sở	Điện trở/điện trở suất	[9]
3	Eaton (1975)	$\frac{P_F}{D} = \frac{\sigma_{OB}}{D} - \left(\frac{\sigma_{OB}}{D} - \frac{P_{F(n)}}{D}\right) \times \left(\frac{C_{n(sh)}}{C_{ob(sh)}}\right)^{1.2}$	Điện trở/điện trở suất, log khối lượng riêng	[10]
Kỹ thuật phát hiện trong khi khoan				
4	Jorden và Shirley (1966)	$ROP = \frac{\log\left(\frac{R}{60N}\right)}{\log\left(\frac{12W}{10^6 d_b}\right)}$	Tốc độ xoay, tải trọng lên choòng, đường kính choòng	[11]
5	Rehm và McClendon (1971)	$d_m = d_{exp}\frac{\rho_n}{\rho_e}$	Tốc độ xoay, tải trọng lên choòng, đường kính choòng, tỷ trọng dung dịch khoan	[13]
6	Bingham (1964)	$ROP = K \times RPM \times \left(\frac{WOB}{d_b}\right)^{d_{exp}}$	Hằng số khoan, đường kính choòng, hằng số tốc độ xoay, tốc độ xoay, tải trọng lên choòng	[12]
7	Zamora	$d_{mn} = d_{mo}e^{mD} \quad G_f = G_n\frac{d_{mn}}{d_m}$	Hệ số mũ m	[13]
Đo đạc thực nghiệm				
8	Thực nghiệm	Thực hiện kết thúc khoan	Đo tính chất điện, sóng âm, mật độ, neutron, điện trở, độ dẫn điện	

2.3. Xác định áp suất vỉa bằng phương pháp DEMSE

Phương pháp này là sự kết hợp của thông số cơ học từ quá trình khoan và dữ liệu ứng suất tại chỗ bằng cách sử dụng khái niệm năng lượng riêng cơ học (MSE) và hiệu suất khoan (DE). Do đó, cần nắm rõ ý nghĩa của MSE và DE để trước khi đi vào chi tiết phương pháp.

2.3.1. Năng lượng riêng cơ học

MSE là tỷ số giữa năng lượng cơ học đầu vào và tốc độ khoan cơ học (ROP - rate of penetration) tương ứng đầu ra, được biểu diễn như phương trình (13):

$$MSE = \frac{\text{Năng lượng cơ học đầu vào}}{ROP} \quad (13)$$

Do đó, MSE càng thấp càng tốt vì giá trị MSE thấp đặc trưng cho thể tích lớn đất đá bị phá hủy trên một đơn vị năng lượng cơ học đầu vào. Nói cách khác, giá trị MSE càng thấp, hiệu suất vận hành càng cao. Năng lượng cơ học đầu vào bao gồm 2 lực: lực dọc trục và lực xoay.

Trong quá trình khoan, lực xoay có thể xem như là moment xoắn T và lực dọc trục có thể xem là tải trọng lên choòng WOB. Thể tích đất đá phá hủy trong một đơn vị thời gian có thể biểu diễn dưới dạng diện tích cắt ngang của choòng khoan nhân với ROP. Do vậy, MSE có thể được biểu diễn như phương trình (14):

$$MSE = \frac{\text{Năng lượng thẳng đứng đầu vào mỗi đơn vị thời gian}}{\text{Thể tích đất đá phá hủy mỗi đơn vị thời gian}} + \frac{\text{Năng lượng xoay đầu vào mỗi đơn vị thời gian}}{\text{Thể tích đất đá phá hủy mỗi đơn vị thời gian}} \quad (14)$$

Thay thế thuật ngữ trong phương trình (14) bằng công thức toán học sẽ được phương trình (15).

$$MSE = \frac{WOB}{S} + \frac{2\pi.moment \times RPM}{S \times ROP} \quad (15)$$

Ngoài ra, năng lượng riêng cơ học cũng được sử dụng để đánh giá hiệu suất khoan DE bằng cách giám sát năng lượng cơ học đầu vào so với độ cứng đất đá ở độ sâu nghiên cứu. Trong đó, DE là tỷ số giữa độ bền nén đa trục CCS (confined compressive strength) của đất đá tại độ sâu nghiên cứu và năng lượng riêng cơ học MSE tại vị trí tương ứng như phương trình (16):

$$DE = \frac{CCS}{MSE} \quad (16)$$

Độ bền cơ học đất đá tăng theo độ sâu do đá bị nén xuống và ứng suất nén đa trục tăng. Ứng suất nén đa trục bao gồm cả ứng suất nén đơn trục (UCS) và sự thay đổi độ bền đất đá. Do đó, độ bền nén đa trục (CCS) tại điều kiện ứng suất đa chiều có thể được tính toán từ UCS như trong phương trình (17).

$$CCS = UCS + \Delta p\left(\frac{1+sin\theta}{1-sin\theta}\right) \quad (17)$$

Trong phương trình (17), Δp là ứng suất nén (confining stress), thường được định nghĩa bằng chênh lệch giữa áp suất đáy giếng (liên quan ECD) và áp suất lỗ rỗng của thành hệ; θ là góc ma sát bên trong, IFA (angle of internal friction).

Theo Reza và cộng sự [4], năng lượng riêng MSE có thể được xác định bằng phương trình (18):

$$MSE = \frac{480 \times T \times RPM}{d_{bit}^2 \times ROP} + \frac{4 \times WOB}{\pi \times d_{bit}^2} \quad (18)$$

Từ các phương trình (16) - (18) có thể thấy rằng thông số CCS và UCS hoàn toàn có thể xác định từ thông số khoan tại bề mặt. Ngoài ra, các thông số cơ học cũng có thể xác định từ kết quả đo sóng âm hoặc địa chấn:

$$UCS = 0{,}43V_p^{3,2} \quad (19)$$

$$\theta = 1{,}532V_p^{0,5148} \quad (20)$$

Việc ứng dụng MSE trong việc xác định và dự báo áp suất lỗ rỗng là bước cải tiến lớn so với phương pháp truyền thống d-exponent do dựa trên một mô hình vật lý tính đến năng lượng cần để phá hủy một thể tích đất đá.

2.3.2. Phương pháp DEMSE

Đối với phương pháp truyền thống đã trình bày ở trên, áp suất vỉa được tính toán thông qua đo địa vật lý giếng khoan (vận tốc sóng âm, điện trở…) với nguyên tắc giả định chiều sâu tương đương, đường xu thế thông thường. Nếu coi đường xu hướng thông thường có thể áp dụng cho đường DE_{trend} ($DE_{trend} = a\varphi_n^b$), với a, b tính từ dữ liệu giếng lân cận thông qua đường điện trở hoặc sóng âm thì áp suất vỉa được tính như phương trình (21):

$$p = p_n + \Delta DE \times MSE \times \left(\frac{1-sin\theta}{1+sin\theta}\right) \quad (21)$$

Trong đó $\Delta DE = DE_p - DE_{trend}$

Từ các phương trình (16), (17), (21) có phương trình (22):

$$p = ECD - (DE_{trend} \times MSE - UCS) \times \left(\frac{1-sin\theta}{1+sin\theta}\right) \quad (22)$$

Do vậy, có thể tóm tắt quy trình tính toán áp suất vỉa theo Hình 1.

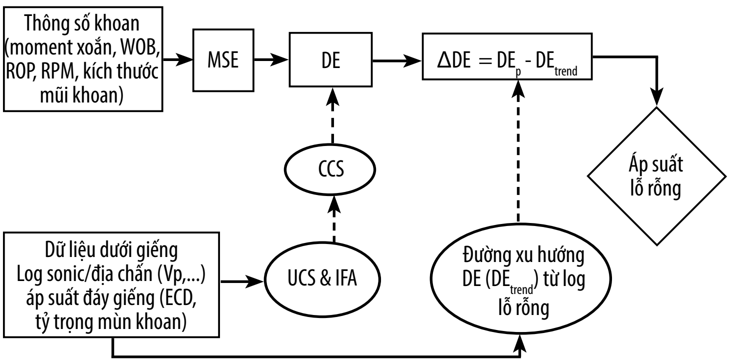
3. Kết quả và trao đổi

3.1. Thông số đầu vào

Dữ liệu đầu vào gồm các thông số khoan: đường kính mũi khoan qua các đoạn, vận tốc xoay, tốc độ khoan cơ học, moment xoắn và tải trọng lên mũi khoan. Các thông số này được thể hiện trong Hình 2.

3.2. Các bước tính toán

Để xác định áp suất vỉa từ các thông số đầu vào trên, nhóm tác giả sử dụng quy trình như Hình 1 và được thể hiện theo các bước như sau:



Hình 1. *Quy trình xác định áp suất vỉa từ DE và MSE (phương pháp DEMSE)*

Bước 1: Xác định CCS (psi), cần các thông số:

- UCS (psi)
- Góc ma sát trong θ (AIF) (radian)
- Δp (áp suất nén, Δp = ECD – PP)

$$CCS = UCS + \Delta p\left(\frac{1 + sin\theta}{1 - sin\theta}\right)$$

Bước 2: Xác định MSE (psi), cần các thông số:

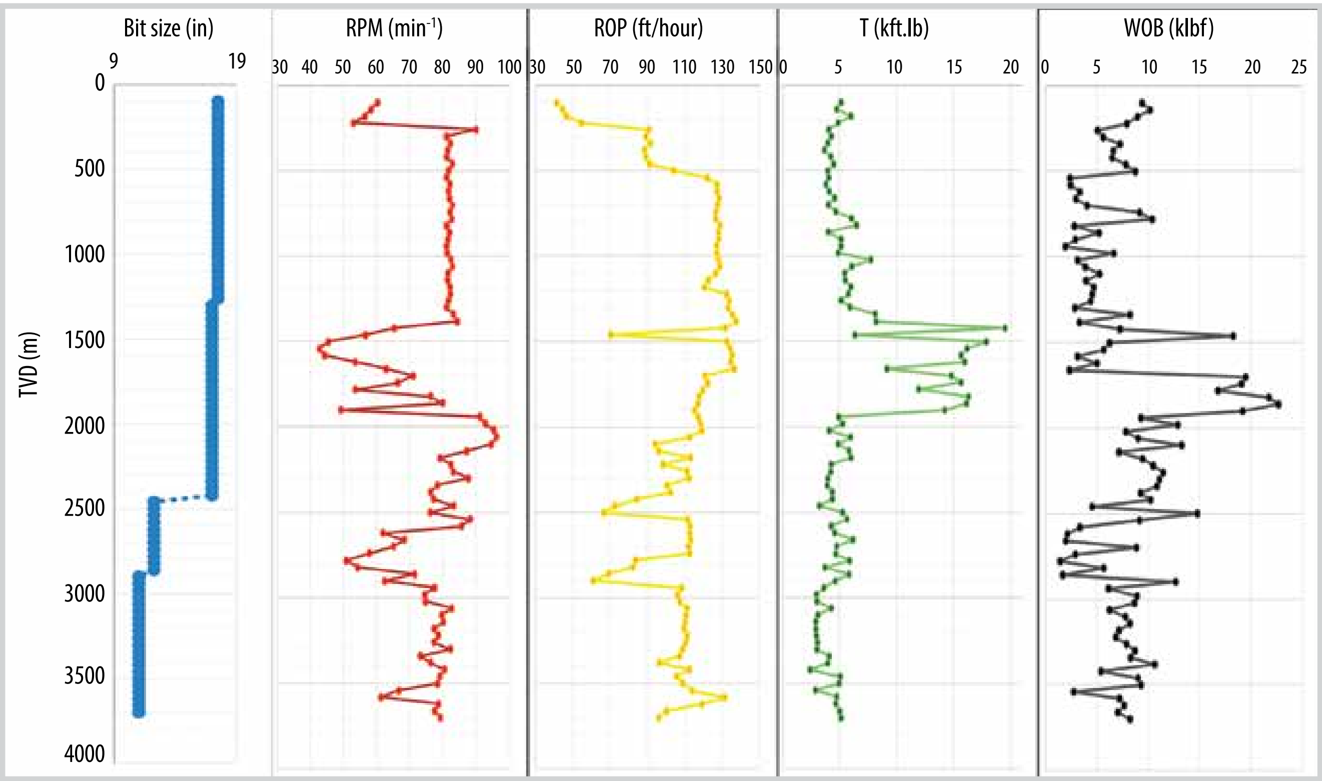
- T: Moment xoắn (ft.lb)
- ROB (ft/giờ)
- WOB (lbf)
- RPM (phút^{-1})
- d_{bit} (in)

$$MSE = \frac{480 \times T \times RPM}{d_{bit}^2 \times ROP} + \frac{4 \times WOB}{\pi \times d_{bit}^2}$$

Bước 3: Tính DE dựa vào CCS và MSE

$$DE = \frac{CCS}{MSE}$$

Bước 4: Xác định ΔDE, cần các thông số:



Hình 2. *Thông số đầu vào cho phương pháp DEMSE*

- DE_p
- DE_{trend}

$$\Delta DE = DE_p - DE_{trend}$$

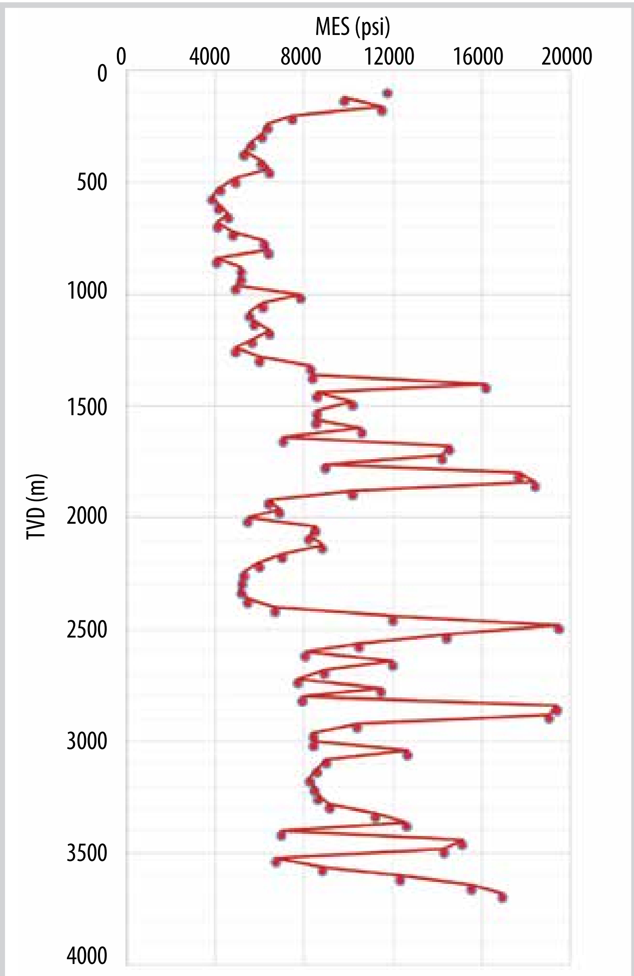
Bước 5: Xác định áp suất lỗ rỗng từ các thông số trên

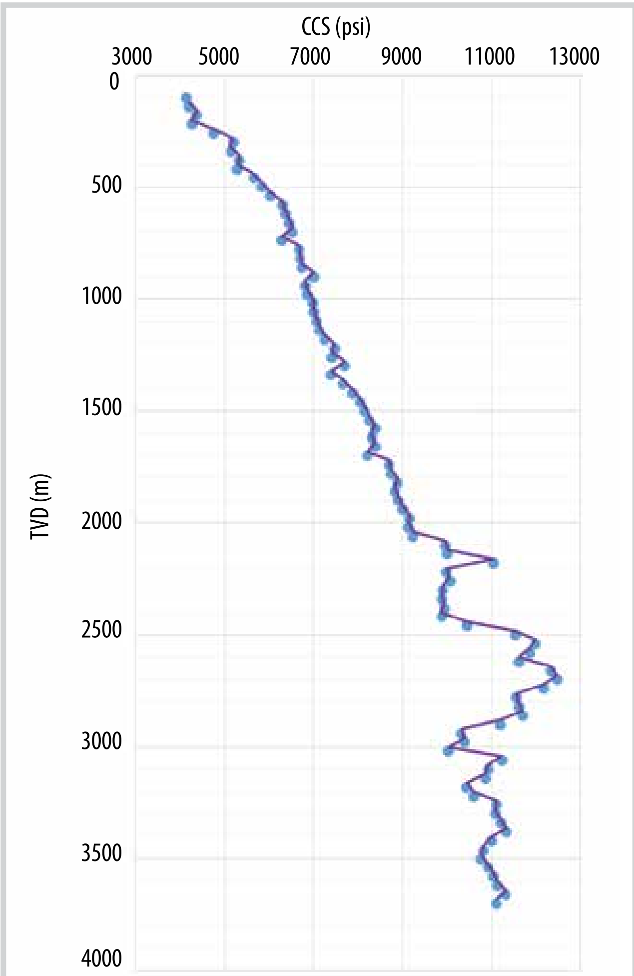
$$p = p_n + \Delta DE \times MSE \times \left(\frac{1 - sin\Theta}{1 + sin\Theta}\right)$$

Để tính toán DE_{trend}, nhóm tác giả sử dụng phương pháp phân tích thống kê đối với dữ liệu các giếng khoan lân cận để có các hệ số a, b trong Mục 2.3.2 tương ứng là 3,125 và 1,21. Kết quả tính các hệ số này được thực hiện bằng trung bình 10 giếng khoan khi khớp kết quả thay đổi DE theo độ rỗng cho đoạn áp suất vỉa có xu hướng thay đổi bình thường. Sau đó kết quả tính toán áp suất vỉa theo phương pháp MSE được vẽ và đối sánh với kết quả tính từ sóng âm (phương pháp truyền thống) và phương pháp hàm số mũ. Lý do của việc đối sánh này là phương pháp xác định theo kết quả đo địa vật lý giếng khoan (sóng âm) được coi là cách tính tin cậy nhất sau khi được đối sánh hiệu chỉnh với kết quả đo thực tế. Đối với vùng nghiên cứu ở đây, đoạn khoan qua có chứa sét mềm và việc chắc chắn xuất hiện áp suất vỉa dị thường là cơ sở kiểm chứng tính chính xác của phương pháp.

3.3. Kết quả và trao đổi

Từ các Bước 1 và 2 cho thấy có thể tính toán trước các thông số CCS và MSE (Hình 3). Trên thực tế, để tính toán MSE cần phân biệt vị trí đo đạc các thông số khoan là trên giàn hay tại khu vực gần mũi khoan. Nếu các thông số lấy ở bộ khoan cụ đáy (BHA) sẽ có tính chính xác cao hơn; ngược lại nếu thông số lấy trên giàn thì khi tính toán cần xem xét hiệu chỉnh kết quả. Đối với nghiên cứu sử dụng thông số (moment xoắn và tải trọng lên choòng) đo đạc trên giàn sẽ ảnh hưởng tới sự chính xác, vì thế khi phân tích các tác giả chỉ xem xét sự phù hợp về hướng biến đổi. Lý do là bởi chỉ có moment xoắn và tải trọng lên choòng ở sát mũi khoan mới thể hiện đúng bản chất, mối tương quan thực của năng lượng phá hủy đất đá và mới đủ cơ sở xác định tương đối chính xác giá trị áp suất.



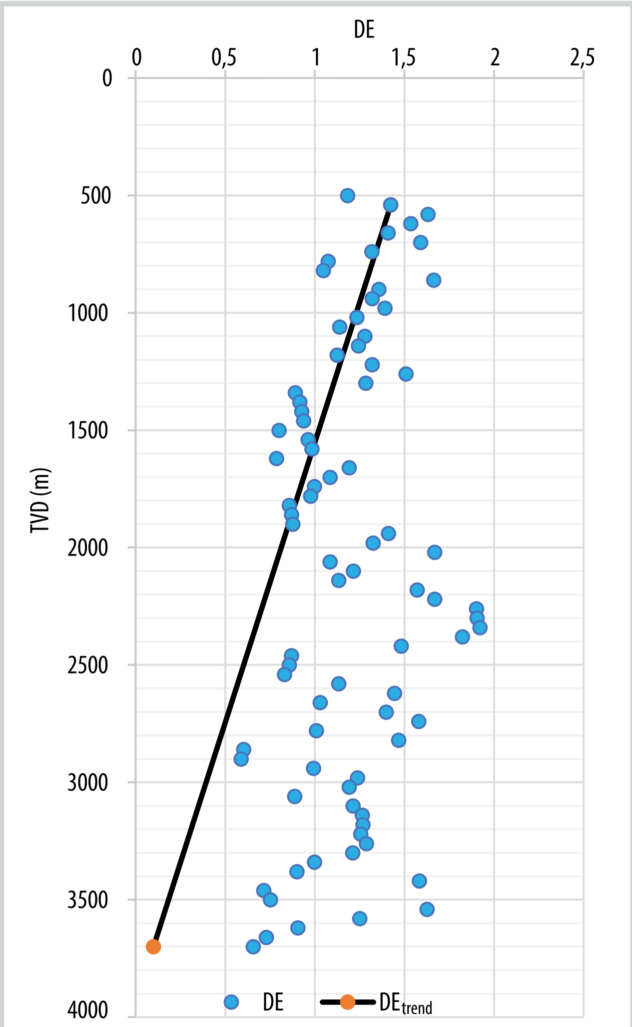


Hình 3. *Kết quả tính toán MSE và CCS*

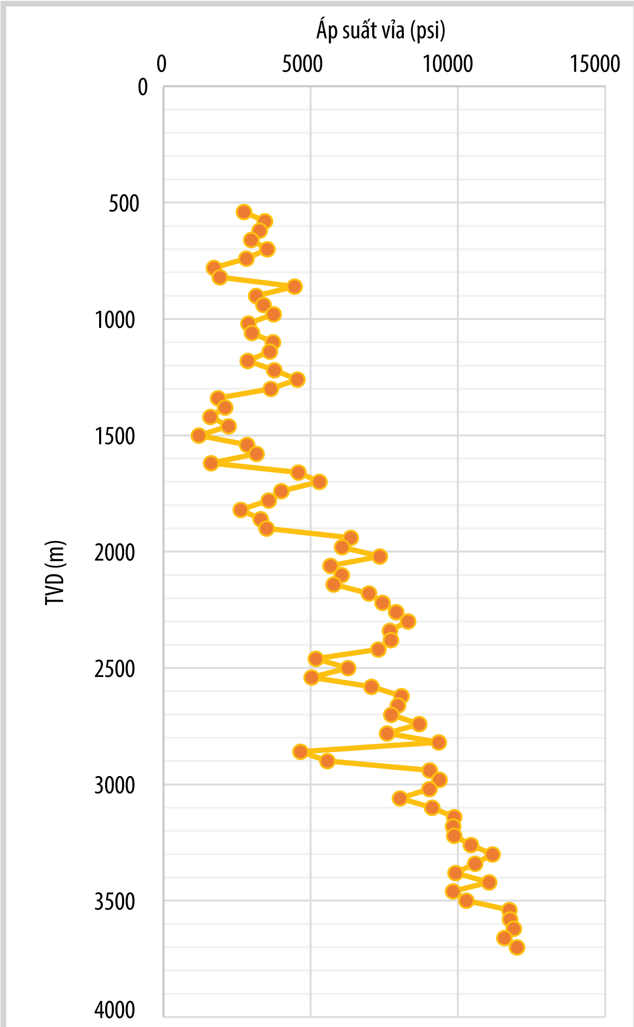
Hình 3 chỉ rõ mối tương quan năng lượng yêu cầu để phá vỡ một đơn vị thể tích đất đá (MSE) tăng theo chiều sâu đồng nghĩa với việc giá trị độ bền của đá (CCS) cũng tăng theo. Đặc biệt, trong khoảng độ sâu 2.000 - 3.000 m, các giá trị MSE và CCS tăng lên đột biến và rời khỏi xu hướng tăng thông thường. Hiện tượng tăng này gắn liền với sự xuất hiện áp suất vỉa dị thường. Vùng áp suất vỉa dị thường kết thúc từ chiều sâu 3.000 m trở đi. Điểm đặc biệt cần lưu ý ở đây là giá trị MSE được xác định trong phương trình (18) (hoặc trong Bước 2 trên đây) có thể chia thành 2 cụm do WOB và T. Khi tính toán tỷ lệ, nhóm tác giả nhận thấy tương ứng giá trị tối thiểu và tối đa của tỷ lệ thành phần MSE do WOB và T là 0,1% và 1,1%. Điều đó có nghĩa là, trong trường hợp do bộ khoan cụ gây ra thì đất đá chủ yếu bị phá hủy cắt do moment xoắn tạo nên, trong khi đó thành phần tải trọng lên choòng có tác dụng phá hủy nghiền dập đất đá chiếm tỷ rất nhỏ. Điều này là hoàn toàn phù hợp và thể hiện rõ nhất đối với mũi khoan PDC. Do đó, kết quả tính toán MSE và DE phụ thuộc nhiều vào thông số moment xoắn. Khi đối sánh với phương trình (4), (5), (6) của mỗi hệ số mũ trong việc xác định áp suất vỉa có thể thấy mô hình chỉ quan tâm tới WOB, ROP, RPM mà không đề cập tới moment xoắn. Hiển nhiên là WOB và T có tác động qua lại, nhưng trong mọi trường hợp cũng cần khẳng định việc xác định moment xoắn là cần thiết vì nó ảnh hưởng lớn tới khả năng phá hủy đất đá. Do đó, việc không xét tới ảnh hưởng trực tiếp của moment xoắn tới xác định áp suất vỉa là nhược điểm của phương pháp hàm mũ.

Tiếp tục thực hiện các Bước 3, 4, 5, các giá trị DE và áp suất vỉa theo phương pháp DEMSE có thể được xác định như Hình 4 và 5.

Áp suất vỉa cho trường hợp nghiên cứu này được xác định theo phương pháp mô hình hệ số mũ theo phương trình (4), (5), (6). Phương pháp truyền thống này thường được sử dụng để xem xét khả năng xuất hiện áp suất vỉa dị thường. Sau khi tính toán được giá trị hệ số dX theo



***Hình 4.** Tương quan giữa DE_{trend} và DE thực*



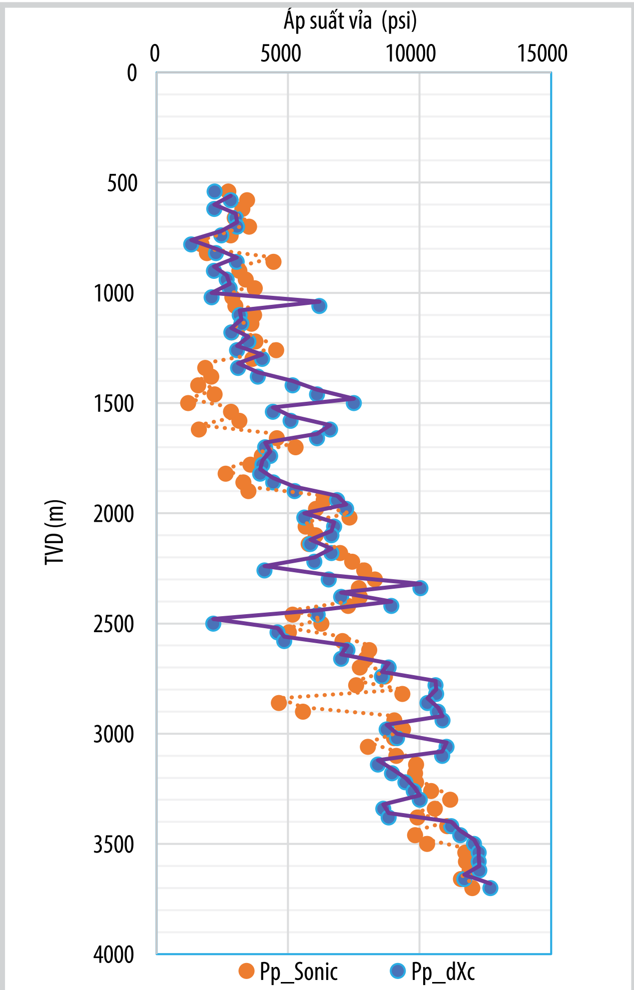
***Hình 5.** Kết quả tính toán áp suất vỉa theo phương pháp kết hợp DEMSE*

thông số khoan (ROP, WOB, RPM), tiến hành vẽ sự thay đổi theo độ sâu khoan. Trên đường thay đổi này, nếu xuất hiện vị trí thay đổi xu thế thông thường thì được coi là vị trí xuất hiện áp suất vỉa dị thường. Cuối cùng, giá trị áp suất vỉa trong khu vực dị thường được tính toán trên cơ sở áp suất vỉa thông thường và nguyên lý chiều sâu tương đương. Kết quả của phương pháp này được trình bày trên Hình 6, đồng thời cũng được so sánh với kết quả tính toán thông qua phương pháp đo địa vật lý giếng khoan về thuộc tính sóng âm theo phương trình (7) (Mục 2.2.2). Nội dung và các bước xác định áp suất vỉa theo các phương pháp truyền thống này có thể tham khảo tài liệu [14].

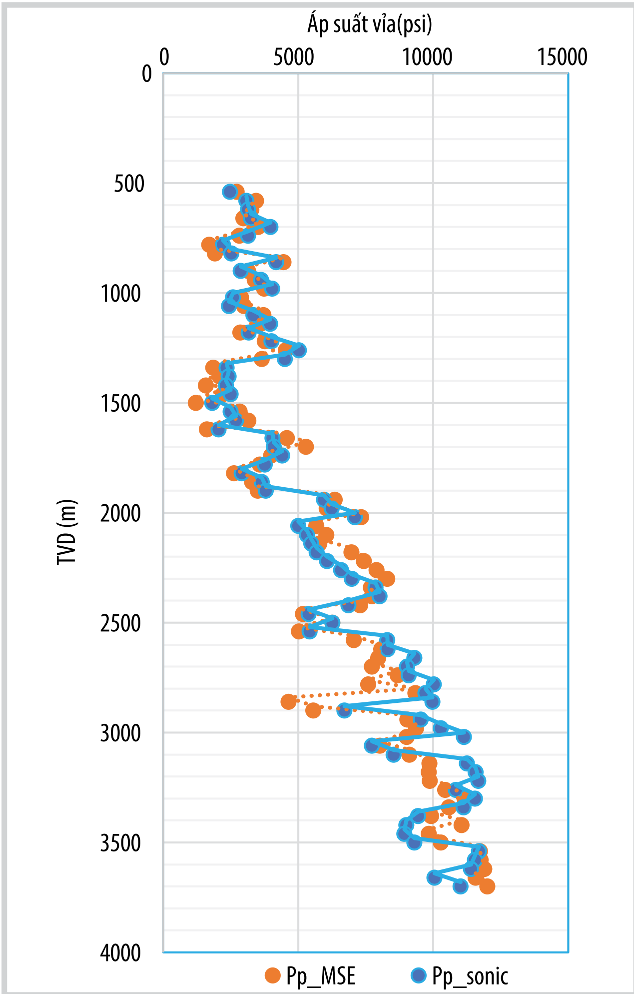
Áp suất vỉa xác định từ kết quả đo sóng âm trong địa vật lý giếng khoan được coi là phương pháp hợp lý trong giai đoạn này và đã chứng minh được sự chính xác so với kết quả đo thực tế FIT. Hình 6 và 7 cho thấy kết quả tính toán áp suất vỉa theo DEMSE khá phù hợp với kết quả địa vật lý giếng khoan. Đồng thời, từ Hình 6 có thể thấy được một số nhược điểm của phương pháp hệ số mũ như: trong đoạn khoan trên 1.300 m có sự sai khác về giá trị giữa 2 phương pháp. Tiếp theo từ độ sâu 1.300 m, rõ ràng giá trị áp suất vỉa của phương pháp hàm mũ tính ra kết quả sai khác lớn và ngược với xu thế của kết quả đo sóng âm. Sự sai khác này có thể do vai trò của moment xoắn đã không được tính tới trong phương pháp hệ số mũ. Hiện tượng này lại gặp phải trong khoảng khoan xung quanh độ sâu 2.800 m. Bên cạnh điểm phù hợp của phương pháp DEMSE so với phương pháp hệ số mũ, cũng có thể thấy hiện tượng sai khác tại 2 khoảng vị trí trên. Sự khác biệt tuy không lớn này xuất phát từ khả năng choòng khoan bị mòn, dẫn tới hiệu quả phá đá bị giảm đáng kể.

4. Kết luận

Trên cơ sở tổng hợp, tính toán, so sánh và phân tích áp suất vỉa theo phương pháp truyền thống (hệ số mũ, sóng âm), tích hợp hiệu suất khoan DE và năng lượng riêng cơ học cho đối tượng nghiên cứu, một số kết luận chính được rút ra như sau:



Hình 6. *So sánh kết quả xác định áp suất vỉa theo phương pháp hàm số mũ và sóng âm*



Hình 7. *So sánh kết quả xác định áp suất vỉa theo phương pháp DEMSE và sóng âm*

- Phương pháp hệ số mũ có nhược điểm chưa tính toán tới vai trò của moment xoắn: kết quả áp suất vỉa sai khác và cho xu thế ngược nhau tại một số vị trí.

- Phương pháp kết hợp hiệu suất khoan DE và năng lượng riêng cơ học MSE cho kết quả phù hợp với phương pháp địa vật lý giếng khoan (sóng âm): về độ lớn và xu hướng.

- Phương pháp DEMSE cần được tiếp tục vận dụng nghiên cứu cho các trường hợp khác: khả năng áp dụng thời gian thực, tiết kiệm chi phí đo địa vật lý giếng khoan, thời gian khoan…

Tài liệu tham khảo

[1] Juan Rivas Cardona, *Fundamental investigation of pore pressure prediction during drilling from the mechanical behavior of rock*. Texas A&M University, 2011.

[2] Erling Fjaer, R.M.Holt, P.Horsrud, A.M.Raaen, and R.Risnes, *Petroleum related rock mechanics*. Elsevier, 2008.

[3] Reza Majidi, Martin Albertin, and Nigel Last, "Method for pore pressure estimation using mechanical specific energy and drilling efficiency", *IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*, Fort Worth, Texas, USA, 1 - 3 March, 2016.

[4] Nguyễn Văn Hùng và Đặng Hữu Minh, "Ứng dụng ANN trong dự báo áp suất nứt vỉa", *Tạp chí Dầu khí*, Số 3: tr. 32 - 41, 2019.

[5] Adam T.Bourgoyne Jr, Keith K.Millheim, Martin E.Chenevert, and F.S.Young Jr, *Applied drilling engineering, 2nd edition*. Society of Petroleum Engineers, 1991.

[6] Mark D.Zoback, *Reservoir geomechanics*. Cambridge University Press, 2007.

[7] Ahmed Zakaria Noah, "New pore pressure evaluation techniques for LAGIA-8 well, Sinai", *International Journal of Geosciences*, Vol. 7, No. 1, pp. 32 - 46, 2015.

[8] Glenn L.Bowers, "Pore pressure estimation from velocity data: Accounting for overpressure mechanisms besides under compaction", SPE Drilling and Completions, Vol. 10, No. 2, pp. 89 - 95, 1995.

[9] William R.Matthews, "Here is how to calculate pore pressure from logs", *Geology*, 1971.

[10] M.King Hubbert Mk and William W.Rubey, "Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting: I.Mechanics of fluid-filled porous solids and its applications to overthrust faulting", *Geological society of America bulletin,* Vol. 70, No. 2, pp. 115 - 166, 1959.

[11] J.R.Jorden and O.J.Shirley, "Application of drilling performance data to overpressure detection", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 18, No. 11, 1966.

[12] M.G.Bingham, "How rock properties are related to drilling", *The Oil and Gas Journal*, pp. 94 - 101, 1964.

[13] Bill Rehm and Ray McClendon, "Measurement of formation pressure from drilling data", *Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME New Orleans, Louisiana, 3 - 6 October*, 1971.

[14] Nguyễn Văn Hùng, Báo cáo thực hiện đề tài: "Dự báo áp suất vỉa, áp suất nứt vỉa cho đối tượng vỉa Miocene của mỏ X", PVU, 2020.

PORE PRESSURE ESTIMATION DURING DRILLING BASED ON MECHANICAL SPECIFIC ENERGY AND DRILLING EFFICIENCY

Nguyen Van Hung, Luong Hai Linh, Le Minh Hieu, Nguyen Tung Quan
Petrovietnam University
Email: hungnv@pvu.edu.vn

Summary

This paper describes DEMSE, a new method that uses surface drilling data to determine, in real time, the pore pressure needed to update the well design. This pore pressure estimation method is a combination of available drilling data (such as torque, rate of penetration and weight on bit), and drilling efficiency (DE), based on the concepts of mechanical specific energy (MSE) or the energy spent at the bit to remove a volume of rock and the differential pressure (wellbore pressure minus pore pressure). Unlike the d-exponent methodology (dXc), which is an empirical correlation considering only weight on bit (WOB), rotation per minute (RPM), and rate of penetration (ROP), DEMSE is an energy-based approach that also takes into account the torque (T) and mechanical properties in addition to WOB, RPM, ROP. The result shows that DEMSE has a significant benefit over the dXc method, in terms of predictive capability, by reducing the subjectivity that is involved in dXc-based pore pressure estimates. Moreover, the results of DEMSE are consistent with the pore pressure estimated by the well log data method.

Key words: Pore pressure, mechanical specific energy, d-exponent, drilling efficiency.