

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT CHỤP CẮT LỚP 2 MỨC NĂNG LƯỢNG ĐỂ PHÂN TÍCH, DỰ BÁO TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA MẪU LỖI

Nguyễn Lâm Quốc Cường, Nguyễn Hồng Minh

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: cuongnlq@vpi.pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2021.02-03>

Tóm tắt

Hơn 20 năm qua, công nghệ chụp cắt lớp được sử dụng trong ngành công nghiệp dầu khí để nghiên cứu đặc tính mẫu lõi và trực quan hóa dòng chảy lưu chất [1 - 8]. Trong đó, chụp cắt lớp định tính cung cấp thông tin về tính bất đồng nhất [9], sự thay đổi thạch học, khe nứt, hang hốc và mức độ xâm nhập của dung dịch khoan. Chụp cắt lớp định lượng ngoài các ứng dụng trên còn dùng để tính mật độ tổng (bulk density), độ rỗng và hiệu chuẩn đường cong địa vật lý giếng khoan.

Bài báo giới thiệu phương pháp dự báo tính chất đá vữa (như mật độ hạt, độ rỗng...) từ kết quả chụp cắt lớp theo phương pháp chụp cắt lớp 2 mức năng lượng (Dual-Energy CT Scanning - DECT) tại 140 kV và 80 kV. Kết quả chụp cắt lớp được so sánh với giá trị đường cong địa vật lý, cho thấy tiềm năng lớn trong việc xác định các tính chất vật lý của đá chứa cũng như chất lưu vữa.

Từ khóa: Chụp cắt lớp 2 mức năng lượng, đặc tính đá chứa, tán xạ Compton, hiệu ứng quang điện, độ rỗng.

1. Giới thiệu

Chụp cắt lớp là kỹ thuật xử lý hình ảnh không phá hủy mẫu, tận dụng công nghệ tia X và các thuật toán tái tạo để xây dựng các mặt cắt ngang và dọc của vật thể. Không chỉ ứng dụng trong y tế, chụp cắt lớp đã được sử dụng để nghiên cứu đất đá vữa trong ngành công nghiệp dầu khí hơn 20 năm qua [1 - 8]. Về cơ bản, chụp cắt lớp trong ngành công nghiệp dầu khí có thể chia làm 2 hướng chính là mô tả đặc tính mẫu lõi và trực quan hóa dòng chảy lưu chất.

Ứng dụng kỹ thuật chụp cắt lớp trong mô tả đặc tính mẫu lõi gồm việc chụp các mẫu đường kính lớn và mẫu lõi đường kính nhỏ (plug). Chụp cắt lớp trong điều kiện mẫu bảo quản rất hữu ích cho các mẫu không cố kết hay những mẫu thí nghiệm mà không làm ảnh hưởng đến trạng thái dính ướt của mẫu. Chụp cắt lớp định tính cung cấp thông tin về tính bất đồng nhất [9], sự thay đổi thạch học, khe nứt, hang hốc và mức độ xâm nhập của dung dịch khoan. Chụp cắt lớp định lượng ngoài các ứng dụng trên còn dùng để tính mật độ tổng, độ rỗng và hiệu chuẩn đường cong địa vật lý giếng khoan.

Phương pháp chụp cắt lớp được dùng nhiều trong việc trực quan hóa dòng chảy lưu chất bằng cách sử dụng chất đánh dấu phóng xạ (dopants) để theo dõi sự dịch chuyển lưu chất bên trong mẫu lõi thông qua quá trình bơm ép. Chất đánh dấu này tạo ra độ tương phản giữa các pha lưu chất giúp quan sát và định lượng sự thay đổi cũng như phân bố độ bão hòa chất lưu trong mẫu, quan sát hiệu ứng trọng lực và hiệu ứng ngón tay, hiện tượng chất lưu bị bẫy lại hay trượt qua, hiệu ứng bất đồng nhất của dòng chảy. Chụp cắt lớp là công cụ rất tốt để quan sát hiệu quả việc xử lý lưu chất như: acid, gel, polymer, hơi nóng và bọt cùng với việc giữ mẫu trong điều kiện vữa bằng thiết bị giữ mẫu chuyên dụng. Khi tiến hành thí nghiệm dòng chảy 3 pha, chụp cắt lớp cung cấp giải pháp hiệu quả để tính toán các độ bão hòa tại chỗ riêng lẻ [1, 10, 11].

Năm 1987, Wellington và Vinegar [1] lần đầu tiên chỉ ra tương quan của hình ảnh chụp cắt lớp với mật độ tổng (bulk density) và số nguyên tử (atomic number) dựa trên quan sát việc quét mẫu ở mức năng lượng cao (trên 100 kV) - khi hiệu ứng tán xạ Compton chiếm ưu thế và năng lượng thấp (dưới 100 kV) - khi hiệu ứng hấp thụ quang điện chiếm ưu thế. Kỹ thuật chụp cắt lớp 2 mức năng lượng được áp dụng cho mẫu lõi có đường kính nhỏ (plug) và đường kính lớn (full diameter) với



Ngày nhận bài: 27/10/2020. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 27/10 - 16/11/2020.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 2/2/2021.

khoảng cách giữa các lát cắt cần xử lý là 5 mm để giảm khối lượng số liệu cần xử lý. Bài báo này tập trung vào dự báo tính chất mẫu lõi bằng cách sử dụng kỹ thuật chụp cắt lớp 2 mức năng lượng.

2. Chụp cắt lớp 2 mức năng lượng (DECT)

Khi chụp cắt lớp 2 mức năng lượng, mẫu sẽ được quét 2 lần cùng vị trí nhưng sử dụng 1 mức năng lượng cao và 1 mức năng lượng thấp. Cách thiết lập mức năng lượng cao và thấp có thể tận dụng lợi thế tương tác của 2 hiện tượng chính của tia X là sự hấp thụ quang điện (chiếm ưu thế khi dùng mức năng lượng thấp) và hiệu ứng tán xạ Compton (chiếm ưu thế khi dùng mức năng lượng cao), tương ứng với sự phụ thuộc vào số nguyên tử và mật độ electron. Xác suất tán xạ Compton phụ thuộc vào năng lượng tia X và mật độ electron, trong khi đó xác suất hấp thụ quang điện tăng nhanh theo số nguyên tử và giảm nhanh khi tăng năng lượng photon. Vì vậy, từ việc đo mức độ suy giảm chùm tia X của 2 mức năng lượng khác nhau có thể giúp tìm ra lượng tán xạ Compton và lượng hấp thụ quang điện khi truyền qua vật liệu [12]. Từ đó có thể tính số nguyên tử hiệu dụng (Z_{eff}) và mật độ electron của đối tượng mẫu bằng cách quét 2 mức năng lượng tách biệt.

Chụp cắt lớp 2 mức năng lượng được sử dụng rộng rãi trong y tế để đo mật độ khoáng chất của xương sau khi loại bỏ hiệu ứng hấp thụ tia X của các mô mềm. Kỹ thuật 2 mức năng lượng cũng được ứng dụng trong quét hành lý để kiểm tra các vật liệu không chính thống bằng biểu đồ giữa Z_{eff} và mật độ [13].

Wellington và Vinegar [1] đề nghị dùng 100 kV như là giá trị đầu vào cho 2 hiệu ứng của máy chụp cắt lớp (trên 100 kV dành cho tán xạ Compton, dưới 100 kV dành cho hấp thụ quang điện). Một số máy chụp cắt lớp ngày nay có mức phát tối đa là 140 kV nên dùng mức năng lượng cao để quét. Còn lại có thể dùng các mức dưới 100 kV như 90, 80, 70 hay 60 kV để làm mức năng lượng thấp nhưng thông thường thì dùng 80 kV.

2.1. Công thức dùng trong chụp cắt lớp 2 mức năng lượng

Phương trình được trích dẫn rộng rãi dùng cho DECT được công bố bởi Wellington và Vinegar [1].

$$\mu = \rho \left[a + \frac{bZ^n}{E^{3,2}} \right] \quad (1)$$

Trong đó:

μ : Hệ số suy giảm tuyến tính;

ρ : Mật độ electron;

E: Năng lượng tia X;

Z: Số nguyên tử;

a: Hệ số Klein-Nishina,

b: Hằng số;

n: Số mũ của Z.

Mật độ electron p liên quan đến mật độ tổng ρ_p theo công thức sau dành cho các loại vật liệu [14].

$$\rho_b = 1,0704\rho - 0,1883 \quad (2)$$

Số mũ n cũng được dùng để tính số nguyên tử hiệu dụng của tổ hợp như công thức (3) mà trong đó Z_i là số nguyên tử của nguyên tố thứ i trong tổ hợp và f_i là tỷ lệ của nguyên tử đại diện cho nguyên tố thứ i trong tổ hợp.

$$Z_{\text{eff}} = \left[\sum f_i Z_i^n \right]^{1/n} \quad (3)$$

Mặc dù nghiên cứu của Wellington và Vinegar sử dụng giá trị $n = 3,8$, nhưng có một số nghiên cứu khác dùng giá trị 3,6, có khi là 3. Bài báo này dùng giá trị $n = 3,8$ cho n như đa số và cũng phù hợp với số mũ dùng trong phân tích đường cong [14 - 17]. Bảng 1 thể hiện một vài giá trị Z_{eff} và giá trị mật độ tổng tương ứng của một số vật liệu phổ biến cần cho tính toán khi quét 2 mức năng lượng [17].

Z_{eff} liên quan đến hệ số quang điện, P_e như công thức (4).

$$P_e = \left[\frac{Z_{\text{eff}}}{10} \right]^{3,8} \quad (4)$$

Giống như P_e , giá trị Z_{eff} cũng ít thay đổi theo độ rỗng. Các nghiên cứu cho thấy Z_{eff} của calcite, dolomite và quartz chỉ thay đổi 5% khi độ rỗng thay đổi 35% với nước là chất lưu trong lỗ rỗng. Vì vậy, Z_{eff} cho thấy tiềm năng là chỉ số thạch học rất tốt và thông qua mối quan hệ được mô tả trong công thức (4), các giá trị Z_{eff} lấy từ chụp cắt lớp có thể được chuyển đổi thành giá trị P_e để ước tính sơ bộ sự xuất hiện của khoáng vật trong mẫu lõi.

Do tính chất phi tuyến phức tạp của công thức (1) nên khó để tính Z_{eff} và p tại các vị trí lát cắt. Angulo và Ortiz [18] đã sử dụng mô hình đa thức để định lượng 2 giá trị này từ ảnh CT, mặc dù kết quả bị ảnh hưởng bởi kỹ thuật tái tạo CT như hiệu ứng cứng chùm tia gây ra bởi tính đa sắc của tia X. Vì vậy, trong các đối tượng mẫu nhiều thành phần, Wellington và Vinegar đã đề cập đến sự cần thiết của việc loại bỏ hiện tượng cứng chùm tia trong quá trình tái cấu trúc 2 mức năng lượng để đạt được kết quả tốt bằng cách áp dụng lọc tia và xử lý trước khi tái tạo.

Bảng 1. Giá trị mật độ tổng và số nguyên tử hiệu dụng của một số khoáng vật

Tên	Công thức hóa học	Mật độ tổng (g/cc)	Z _{eff}
Nước	H ₂ O	1	7,5195
Graphite	C	2,3	6
Calcite	CaCO ₃	2,71	15,71
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	2,87	13,7438
Air	Air	0,001	7,224
Quartz Mineral	SiO ₂	2,65	11,7842
Aluminum Pure	Al	2,7	13
Iron Pure	Fe	5,6	26
Anhydrite	CaSO ₄	2,95	15,6847
Fused Quartz	SiO ₂	2,2	11,7842
Pyrite	FeS ₂	5,02	21,9588
Siderite	FeCO ₃	3,96	21,0932
Barite	BaSO ₄	4,5	47,2008
Na-Feldspar	NaAlSi ₃ O ₈	2,61	11,5534
K-Feldspar	KAlSi ₃ O ₈	2,53	13,3895
Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2,6	11,1622
Illite	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	2,8	9,6058
Na-Montmorillonite	NaAl ₃ MgSi ₁₂ O ₃₀ (OH) ₆	2,65	11,462
Ca-Montmorillonite	Ca _{0,5} Al ₅ MgSi ₁₂ O ₃₀ (OH) ₆	2,65	11,8277
Chlorite	Fe ₂ Mg ₂ Al ₂ Si ₂ Al ₁₂ O ₁₀ (OH) ₈	2,9	11,6449
Celestite	SrSO ₄	3,9	30,4686
Talc	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	2,75	8,4538
Rutile	TiO ₂	4,2	19,0006
Halite	NaCl	2,35	15,3295

Các máy chụp cắt lớp chủ yếu cung cấp dữ liệu suy giảm dưới dạng số CT (CT number, đơn vị là HU) được hiệu chỉnh bằng sự suy giảm của nước và được thể hiện như sau:

$$CTN = \frac{\mu - \mu_w}{\mu_w} \times 1000 \quad (5)$$

Vinegar và Kehl [14] đã rút ra 2 phương trình khác từ phương trình 1 mà sử dụng 2 mức năng lượng thấp và cao như sau:

$$\rho = A \times CTN_{low} - B \times CTN_{high} + C \quad (6)$$

$$Z_{eff} = D \times \left[\frac{E \times CTN_{low} - CTN_{high} - F}{\rho} \right]^{1/3,8} \quad (7)$$

Vinegar và Kehl đề xuất quét qua một số mẫu lõi biết trước mật độ tổng và Z_{eff} sử dụng kết quả liên kết số CT (tại 2 mức năng lượng thấp và cao) theo phương trình (6) và (7) để tính ra các giá trị A, B, C, D, E và F. Những giá trị này sẽ được áp dụng để tính ρ_b và Z_{eff} cho những mẫu khác. Một số phần mềm hiện nay có quy trình xử lý tương tự phương pháp của Vinegar và Kehl để tính ρ và Z_{eff} liên tục trên các lát cắt cho từng điểm ảnh (voxel by voxel).

2.2. Đơn giản hóa phương trình 2 mức năng lượng

Quy trình dưới đây được sử dụng để xác định định lượng mật độ tổng ρ_b và Z_{eff} dựa trên giá trị số CT của

vùng quan tâm (Region of Interest - ROI) trong khoảng mẫu lõi được đo. Tại vị trí mỗi lát cắt, mức năng lượng quét là 80 kV và 140 kV.

Phương trình từ (2) - (6) có thể viết lại như sau:

$$\rho_b = 1,0704 \times [A \times CTN_{low} - B \times CTN_{high} + C] - 0,1883 \quad (8)$$

Phương trình (8) được sắp xếp lại cho đơn giản hơn chỉ với 3 hệ số mới là m, p và q.

$$\rho_b = m \times CTN_{low} + p \times CTN_{high} + q \quad (9)$$

Phương trình (7) được viết lại như sau:

$$D \times E \times CTN_{low} - D \times CTN_{high} - D \times F = \rho \times Z_{eff}^{3,8} \quad (10)$$

Phương trình (2) được viết lại như sau:

$$\rho = 0,9342 \times \rho_b + 0,1759 \quad (11)$$

Kết hợp (2) phương trình (10) và (11) thành phương trình đơn giản hơn với 3 hệ số r, s và t như sau:

$$r \times CTN_{low} + s \times CTN_{high} + t = [0,9342 \times \rho_b + 0,1759] \times Z_{eff}^{3,8} \quad (12)$$

Hoặc

$$Z_{eff} = \left[\frac{r \times CTN_{low} + s \times CTN_{high} + t}{0,9342 \times \rho_b + 0,1759} \right]^{1/3,8} \quad (13)$$

Giải các phương trình 3 ẩn này sẽ tìm ra được các giá trị m, p, q và r, s, t. Ngoài ra, hệ số quang điện cũng có thể được tính cho mỗi lát cắt dựa trên công thức (4). Điều quan trọng là dữ liệu năng lượng cao và thấp và số CT phải được thu thập tại cùng một vị trí và vùng quan tâm.

2.3. Thí nghiệm chụp cắt lớp xác định mật độ tổng

2.3.1. Kết quả quét mẫu lõi hình trụ

Trước tiên, căn chỉnh máy chụp cắt lớp được thực hiện với 3 mẫu chuẩn đã biết trước các thông số ρ_b và Z_{eff} (có

Bảng 2. Giá trị hệ số cho các mẫu chuẩn

Hệ số	Giá trị
m	-0,8207
p	2,0109
q	1.245,9
r	34.683
s	-44.491
t	-6.651.160

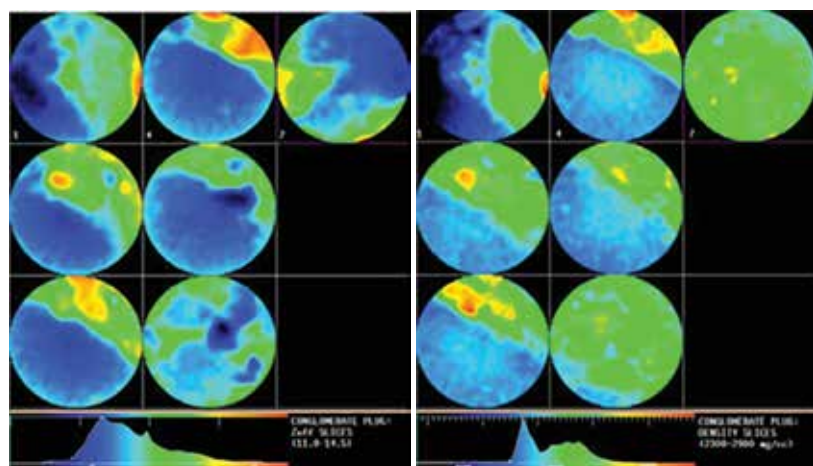
thể lựa chọn từ các mẫu tiêu chuẩn ở Bảng 1). Các mẫu này được dùng để tính ra 6 hệ số m, p, q, r, s và t như miêu tả ở trên. Từ giá trị số CT tại 2 mức năng lượng cao và thấp cùng giá trị tương ứng ρ_b và Z_{eff} của các mẫu hiệu chuẩn đã biết sẽ tính được các hệ số quét 2 mức năng lượng - được thể hiện trong Bảng 2.

Mẫu dùng để thí nghiệm được chọn từ các mẫu đại diện cho các loại thạch học khác nhau gồm: đá vôi, đá cát kết và sét phiến. Ba mẫu này được chụp cắt lớp tại mức năng lượng 140 kV và 80 kV tại cùng vị trí. Giá trị số CT tại vùng quan tâm của 2 mức cao và thấp được tính toán sang ρ_b và Z_{eff} theo phương trình (9) và (13) và cho kết quả trong Bảng 3.

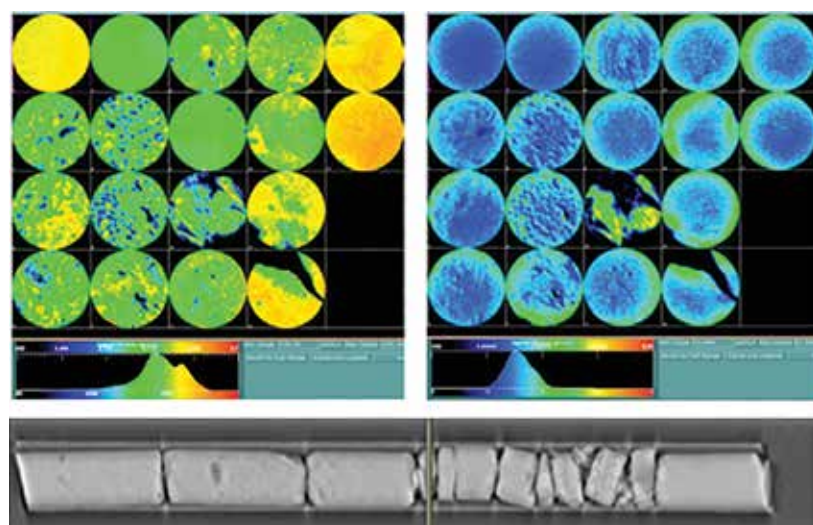
Bảng 3 cũng cung cấp giá trị trung bình của ρ_b và Z_{eff} cho 3 mẫu. Giá trị đo mật độ tổng bằng phương pháp phân tích thông thường có thể tích tổng lần lượt là 1906,2; 2120; 2529,2 mg/cc với sai số hiệu dụng tương ứng là

Bảng 3. Giá trị ρ_b và Z_{eff} khi quét các mẫu nhỏ

TT	CTN _{low}	CTN _{high}	ρ_b (mg/cm ³)	Z_{eff}	Plug	
1	3411,5	1789,4	2044,4	14,91	Đá vôi	
2	3407,5	1786,4	2041,7	14,92	Avg. ρ_b	
3	3404,0	1784,3	2040,4	14,92	2041,50	mg/cc
4	3404,3	1785,1	2041,6	14,91	Avg. Z_{eff}	
5	3402,2	1783,7	2040,6	14,91	14,91	
6	3399,9	1782,6	2040,3	14,91		
7	3394,4	1779,8	2039,3	14,90		
8	3393,6	1779,9	2040,0	14,90		
9	3394,6	1782,9	2045,2	14,87		
1	2521,5	1480,4	2153,4	11,89	Đá cát kết	
2	2491,5	1458,8	2134,6	11,90	Avg. ρ_b	
3	2527,2	1479,4	2146,7	11,95	2147,70	mg/cc
4	2526,2	1478,0	2144,7	11,96	Avg. Z_{eff}	
5	2459,9	1437,0	2116,8	11,90	11,93	
6	2552,7	1494,7	2156,6	11,98		
7	2583,0	1516,7	2176,0	11,97		
8	2552,4	1499,0	2165,5	11,93		
9	2503,9	1467,3	2141,6	11,90		
10	2553,0	1498,7	2164,4	11,93		
11	2525,8	1480,8	2150,8	11,92		
12	2538,7	1488,4	2155,3	11,94		
13	2474,5	1448,9	2128,6	11,88		
14	2496,1	1459,7	2132,7	11,93		
1	3377,2	2015,0	2526,1	12,48	Đá phiến sét	
2	3574,8	2139,7	2614,8	12,57	Avg. ρ_b	
3	3546,0	2127,3	2613,5	12,50	2610,20	mg/cc
4	3512,9	2115,0	2615,9	12,40	Avg. Z_{eff}	
5	3461,7	2091,1	2609,9	12,29	12,45	
6	3580,9	2154,5	2639,6	12,46		
7	3591,9	2165,1	2651,9	12,43		



Hình 1. Giá trị ρ_b và Z_{eff} của từng lát cắt



Hình 2. Sự xuất hiện của hiệu ứng chùm tia trên các lát cắt

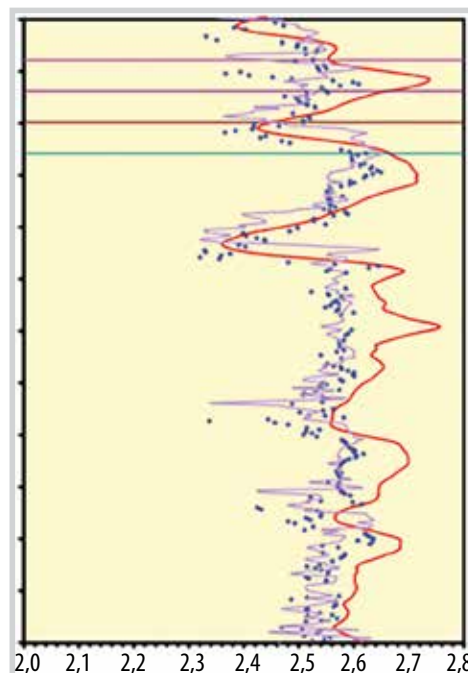
-7,1%; -1,7%; -3,2% (với kỹ thuật chụp 3 mức năng lượng thì giá trị dự báo cao hơn một chút).

Các giá trị trung bình ρ_b và Z_{eff} cho mỗi lát cắt có thể tính toán bằng phần mềm xử lý. Ngoài ra, kỹ thuật đổ màu lên hình ảnh cũng được sử dụng để trực quan hóa số liệu. Hình 1 là hình ảnh được đổ màu - màu sáng đại diện cho các giá trị cao, màu đen đại diện cho các giá trị thấp.

Hình ảnh của các lát cắt rất hữu ích trong việc cung cấp thông tin về tính đồng nhất cũng như cho thấy sự xuất hiện của hiệu ứng chùm tia. Từ đó, có thể loại bỏ các giá trị nhiễu ảnh hưởng đến kết quả (Hình 2).

2.3.2. Kết quả quét mẫu lõi đường kính lớn

Thí nghiệm chụp cắt lớp 2 mức năng lượng cũng được áp dụng cho mẫu đường kính lớn. Mẫu được khoan bằng dung dịch gốc nước, bảo quản trong ống nhôm bịt kín 2 đầu để mẫu không bị xô dịch, nứt nẻ do vận chuyển cũng như giữ nguyên được hiện trạng của mẫu. Mẫu được quét tại 2 mức năng lượng 140 kV và 80 kV.



Hình 3. Tương quan của đường cong mật độ (màu đỏ), giá trị chụp cắt lớp rời rạc (chấm tròn) và trung bình hóa (đường tím)

2.4. So sánh kết quả quét 2 mức năng lượng với dữ liệu đường cong địa vật lý

Kết quả định lượng từ việc quét 2 mức năng lượng được so sánh với các đường cong địa vật lý giếng khoan. Hình 3 thể hiện sự tương quan của mật độ tổng lấy từ đường cong địa vật lý và từ chụp cắt lớp 2 mức năng lượng (điểm rời rạc và trung bình hóa). Có thể áp dụng để dịch chuyển độ sâu cho phù hợp. So sánh kết quả thu được từ chụp cắt lớp với đường cong địa vật lý cho thấy, do mức năng lượng của việc đo địa vật lý khá cao (từ 200 - 2.000 kV), nên đường cong địa vật lý sẽ chịu ảnh hưởng của hiệu ứng tán xạ Compton là chủ yếu mà không bị ảnh hưởng của hiệu ứng quang điện. Do vậy, dẫn đến việc khó xác định một số khoáng vật như dolomite trong đá carbonate.

2.5. Thí nghiệm đo độ rỗng dùng kỹ thuật chụp cắt lớp 2 mức năng lượng

Với kỹ thuật chụp cắt lớp 2 mức năng lượng, độ rỗng của mẫu được tính toán từ giá trị mật độ tổng và số nguyên tử hiệu dụng theo các bước sau:

- Quét mẫu vật tại cùng vị trí qua 2 mức năng lượng khác nhau;
- Quét mẫu hiệu chuẩn để tạo ra các hệ số chuẩn;
- Tính mật độ tổng và số nguyên tử hiệu dụng cho từng lát cắt dựa trên số CT của mức năng lượng cao và số CT của mức năng lượng thấp;
- Tính hệ số quang điện P_e từ Z_{eff} ;
- Tính mật độ electron từ mật độ tổng;
- Tính U, chỉ số thể tích quang điện hấp thụ dựa trên công thức

$$U = P_e \times \rho \quad (14)$$

Dùng các biểu đồ tương quan giữa độ rỗng, thạch học và độ bão hòa tiêu chuẩn của Schlumberger để tính tỷ lệ khoáng vật [16, 18, 20];

Khi tỷ lệ khoáng vật được biết, mật độ khung đá ρ_{ma} sẽ được tính dựa trên quy tắc trộn lẫn và độ rỗng sẽ được tính theo công thức sau:

$$\phi = \frac{\rho_{\text{ma}} - \rho_b}{\rho_{\text{ma}} - \rho_f} \quad (15)$$

3. Kết luận

Bài báo giới thiệu quy trình, công thức tính toán được sử dụng cho thí nghiệm chụp cắt lớp 2 mức năng lượng. Những hệ số cần thiết để đưa ra được giá trị ρ_b và Z_{eff} dựa trên những dữ liệu về số CT của 2 mức năng lượng cao và thấp.

Việc tính toán được dùng trên 3 mẫu thử và kết quả cho thấy sự khả quan khi sử dụng kỹ thuật này. Việc chụp cắt lớp này cũng được dùng áp dụng cho mẫu lõi đường kính lớn và kết quả được so sánh với giá trị đường cong địa vật lý.

Nghiên cứu này được tiếp tục phát triển để tăng chất lượng của việc chụp cắt lớp 2 mức năng lượng nhằm tính toán các thông số ρ_b và Z_{eff} chính xác hơn. Đồng thời, kỹ thuật chụp cắt lớp cũng cho thấy tiềm năng lớn trong việc xác định các tính chất vật lý của đá chứa cũng như chất lưu vỉa.

Các ứng dụng chụp cắt lớp 2 mức năng lượng nếu được kết hợp với các thông tin từ đường cong địa vật lý và từ biểu đồ phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn sẽ cung cấp thông tin hữu ích cho công tác nghiên cứu đặc tính vỉa chứa.

Tài liệu tham khảo

- [1] S.L. Wellington and H.J. Vinegar, "X-ray

computerized tomography", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 39, No. 8, pp. 885 - 898, 1987.

[2] Patricia K. Hunt, Philip Engler, and Caroline Bajsarowicz, "Computed tomography as a core analysis tool: Applications, instrument evaluation, and image improvement techniques", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 40, No. 9, pp. 1203 - 1210, 1988.

[3] E.M. Withjack, "Computed tomography for rock-property determination and fluid-flow visualization", *SPE Formation Evaluation*, Vol. 3, No. 4, pp. 696 - 704, 1988.

[4] A. Kantzas, "Investigation of physical properties of porous rocks and fluid flow phenomena in porous media using computer assisted tomography", *In Situ*, Vol. 14, No. 1, p. 77 - 132, 1990.

[5] A. Bansal and M.R. Islam, "State-of-the-Art review of nondestructive testing with computer-assisted tomography", *International Arctic Technology Conference, Anchorage, AK*, 29 - 31 May 1991.

[6] S. Saner, "A review of computer tomography and petrophysical applications (Sabbatical research, 1993 - 1994)", King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, KSA, 1994.

[7] S. Akin and A.R. Kovscek, "Use of computerized tomography in petroleum engineering research", Annual Report of SUPRI TR 127, Stanford University, Stanford, CA, pp. 63 - 83, 2001.

[8] E.M. Withjack, C. Devier, and G. Michael, "The role of computed tomography in core analysis", *SPE Western Regional/AAPG Pacific Section Joint Meeting, Long beach, CA*, 19 - 24 May 2003.

[9] Shameem Siddiqui, James Funk, and Aon Khamees, "Static and dynamic measurements of reservoir heterogeneities in carbonate reservoirs", *2000 SCA Symposium, Abu Dhabi, UAE, 18 - 22 October 2000*.

[10] S. Siddiqui, P.J. Hicks, and A.S. Grader, "Verification of buckley-leverett three phase theory using computerized tomography", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 1 - 21, 1996.

[11] A. Sahni, J.E. Burger, and M.J. Blunt, "Measurement of three- phase relative permeability during gravity drainage using CT scanning", *SPE/DOE Improved Oil Recovery Conference, Tulsa, OK, 19 - 22 April 1998*.

[12] G.K. Von Schulthness and H-G Smith, *Encyclopaedia of medical imaging - Vol. 1: Physics, Technology and Procedures*. Martin Dunitz Ltd., London, UK, 1998.

- [13] Q. Lu, "The utility of X-ray dual-energy transmission and scatter technologies for illicit material detection", Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA, 1999.
- [14] J.S. Gardner and J.L. Dumanoir, "Litho-Density log interpretation", *SPWLA Twenty-First Annual Logging Symposium Transactions*, 8 - 11 July 1980.
- [15] H. Edmundson and L.L. Raymer, "Radioactive logging parameters for common minerals", *SPWLA Twentieth Annual Logging Symposium Transactions*, 3 - 6 June 1979.
- [16] O. Serra, *Schlumberger element mineral rock catalog*. Schlumberger Publications, 1990.
- [17] M. Rider, *The geological interpretation of well logs*. Gulf Publishing Co., Houston, TX, 1996.
- [18] R. Angulo and N. Ortiz, "X-Ray tomography applications in porous media evaluation", *2nd Latin American Petroleum Engineering Conference (LAPEC), Caracas, Venezuela, 8 - 11 March 1992*.
- [19] Schlumberger, *Log interpretations charts*. Schlumberger Publications, 1995.

APPLICATION OF DUAL-ENERGY CT SCAN TO ANALYSE AND PREDICT ROCK PROPERTIES IN CORE ANALYSIS

Nguyen Lam Quoc Cuong, Nguyen Hong Minh

Vietnam Petroleum Institute

Email: cuongnlq@vpi.pvn.vn

Summary

Tomography has been used in the oil and gas industry for more than 20 years to study core sample properties and visualise fluid flow [1 - 8]. Qualitative tomography provides information on heterogeneity [9], petrographic change, fissure, cavity and penetration level of drilling muds, whereas quantitative tomography in addition to the above applications is also used to calculate the bulk density, porosity, and calibration of logging curves.

The article presents the method for prediction of rock properties (such as grain density and porosity, etc.) from the results of CT scans using Dual-energy CT Scanning - DECT at 140 kV and 80 kV. The CT scan results are compared with the values of the geophysical curve, showing a great potential in determining the physical properties of the reservoir rock as well as the reservoir fluid.

Key words: Dual-energy CT scanning, rock properties, Compton scattering, photoelectric effect, porosity.