

DỰ ĐOÁN KÍCH THƯỚC KÊNH RỒNG CỦA ĐÁ CARBONATE BỂ SÔNG HỒNG TỪ KẾT QUẢ PHÂN TÍCH MẪU LỖI TIÊU CHUẨN

KS. Ngô Thành Vương, ThS. Nguyễn Hồng Minh
Viện Dầu khí Việt Nam

Tóm tắt

Số liệu áp suất mao dẫn xác định bằng phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao (Mercury injection capillary pressure - MICP) được sử dụng phổ biến trong việc đánh giá vỉa chứa, đánh giá khả năng chắn của đá và xác định vị trí tích tụ dầu khí cũng như tầng chuyển tiếp. Tuy nhiên, trong một số trường hợp do vấn đề về giá thành hay số lượng mẫu mà thí nghiệm theo phương pháp này không được thực hiện. Bài viết giới thiệu công thức thực nghiệm để tính toán kích thước kênh rỗng từ kết quả phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn trong trường hợp không có dữ liệu từ phân tích thủy ngân áp suất cao. Mỗi quan hệ giữa độ thấm, độ rỗng và kích thước kênh rỗng được xác định bằng phương pháp hồi quy thực nghiệm trên dữ liệu của 50 mẫu đá carbonate bể Sông Hồng.

1. Giới thiệu

Áp suất mao dẫn là một trong những đặc điểm đặc trưng vật lý thạch học quan trọng của đá chứa dầu khí. Đường quan hệ giữa áp suất mao dẫn với độ bão hòa nước được sử dụng để xác định sự phân bố của nước trong vỉa (nước tàn dư) và sự biến đổi của độ bão hòa trong vùng chuyển tiếp giữa vùng chứa nước 100% và vùng chứa dầu. Áp suất mao dẫn được xác định bằng các phương pháp màng bán thấm, ly tâm và bơm ép thủy ngân. Trong nghiên cứu này, phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao được sử dụng để xác định áp suất mao dẫn và kích thước kênh rỗng. Từ đó, xác định khả năng chắn của đá và áp suất ngưỡng mà tại đó thủy ngân bắt đầu xâm nhập vào không gian rỗng. Trong trường hợp không thể tiến hành thí nghiệm bơm ép thủy ngân do giá thành cao, phá hủy mẫu hoặc thiếu mẫu (mẫu vụn) thì việc dự đoán kích thước kênh rỗng từ độ thấm, độ rỗng là hết sức cần thiết.

2. Phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao

Washburn đã đưa ra công thức mô tả mối quan hệ giữa áp suất đẩy và kích cỡ lỗ rỗng nhỏ nhất được thủy ngân xâm nhập [1]:

$$P = - \frac{4\gamma \cos \theta}{d} \quad (1)$$

Trong đó:

P: Áp suất, psi;

γ : Ứng suất bề mặt của chất lỏng, dynes/cm;

θ : Góc dính ướt, độ;

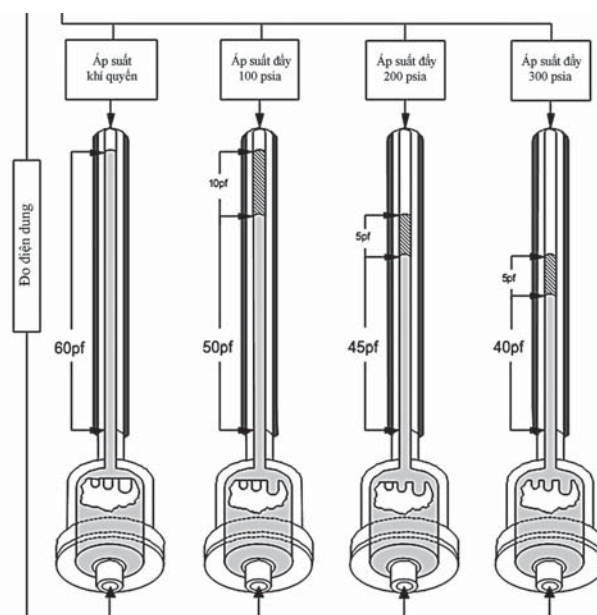
d: Đường kính lỗ rỗng, μm .

Áp suất đẩy phục thuộc vào góc dính ướt, hình dạng

không gian rỗng và ứng suất bề mặt của chất lỏng. Thủy ngân được sử dụng trong việc xác định kích thước lỗ rỗng do không dính ướt với vật liệu thô.



Hình 1. Thiết bị Autopore IV



Hình 2. Biểu đồ mô tả sự xâm nhập của thủy ngân vào mẫu tương ứng với các cấp áp suất

Mục đích của phương pháp bơm ép thủy ngân là xác định độ rỗng, sự phân bố kích thước kênh rỗng và đường cong áp suất mao dẫn hệ khí - thủy ngân.

3. Quy trình phân tích

Thiết bị được sử dụng cho việc phân tích kích thước kênh rỗng là Autopore IV (Hình 1) với khả năng tạo áp suất tối đa là 60.000psi và đo kích thước trong khoảng 0,003 - 360 μ m [2].

Việc phân tích được thực hiện theo các bước sau:

- Cân khối lượng mẫu khô và ghi giá trị vào bảng đo;
- Nhập các thông số mẫu và điều kiện phân tích vào chương trình;
- Mẫu được đặt vào ống đâm xuyên, lắp ống đâm xuyên vào cổng áp suất thấp trên thiết bị. Thiết bị sẽ tự

động hút chân không và xả đầy thủy ngân vào ống đâm xuyên. Sau đó, áp suất ép thủy ngân tăng dần theo các mức đã định sẵn tới giá trị cuối cùng đã được cài đặt trong mục điều kiện phân tích;

- Ghi nhận kết quả phân tích;
- Khi phân tích áp suất thấp kết thúc, ống đâm xuyên được tháo ra khỏi cổng áp suất thấp và lắp vào cổng áp suất cao. Áp suất ép thủy ngân tăng dần tới áp suất cao nhất 60.000psi;
- Ghi nhận kết quả phân tích.

Thể tích lỗ rỗng được tính toán bằng việc xác định thể tích thủy ngân còn lại trong thân hình trụ của ống đâm xuyên. Khi áp suất tăng, thủy ngân sẽ xâm nhập vào bên trong lỗ rỗng. Áp suất càng lớn thì thủy ngân sẽ xâm nhập vào lỗ rỗng có kích thước nhỏ hơn.

Thể tích thủy ngân trong thân hình trụ được xác định bằng điện dung của ống đâm xuyên. Điện dung của ống đâm xuyên thay đổi theo chiều dài thân ống bị thủy ngân chiếm giữ. Phần mềm Autopore IV chuyển đổi giá trị điện dung của ống đâm xuyên thành thể tích thủy ngân xâm nhập vào lỗ rỗng (Hình 2).

4. Mối quan hệ giữa độ thấm, độ rỗng và kích thước kênh rỗng

Dựa trên kết quả phân bố kích thước kênh rỗng từ phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao và kết quả độ thấm, độ rỗng từ phân tích mẫu lõi thông thường, thiết lập mối quan hệ giữa các thông số. Kích thước kênh rỗng của 50 mẫu tương ứng với các độ bão hòa thủy ngân lần lượt là 10%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75% được sử dụng để thiết lập công thức quan hệ thực nghiệm. Sử dụng phần mềm thống kê (Datafit 9.0) để phân tích đa hồi quy, xác định các công thức quan hệ thực nghiệm, qua đó xác định kích thước kênh rỗng tại cấp bão hòa thủy ngân có hệ số hồi quy R^2 cao nhất. Mối liên hệ giữa 3 thông số trên có dạng [4]:

$$\text{Log}(R) = a + b \times \text{Log}(k) + c \times \text{log}(\phi)$$

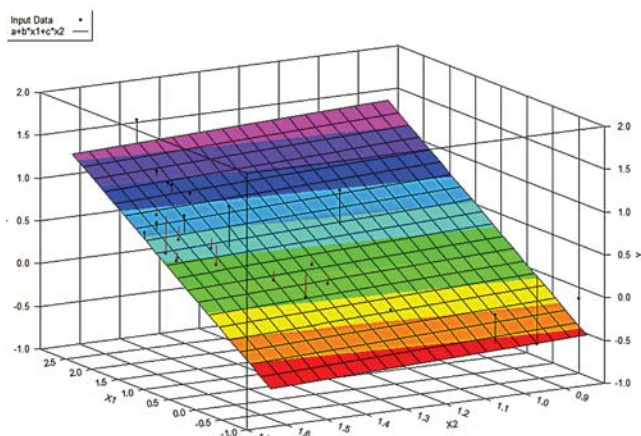
Trong đó:

K: Độ thấm tuyệt đối, mD;

ϕ : Độ rỗng, %;

a, b, c: Hệ số;

R: Kích thước kênh rỗng, micro.



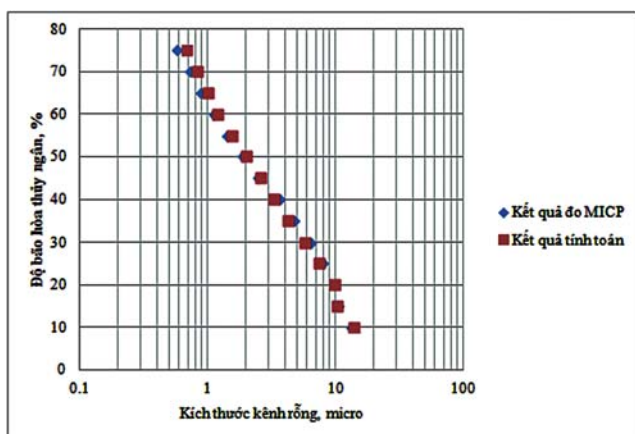
Hình 3. Mô hình 3D thể hiện mối quan hệ giữa kích thước kênh rỗng R20 với độ thấm và độ rỗng

Bảng 1. Kích thước kênh rỗng tại các cấp bão hòa thủy ngân

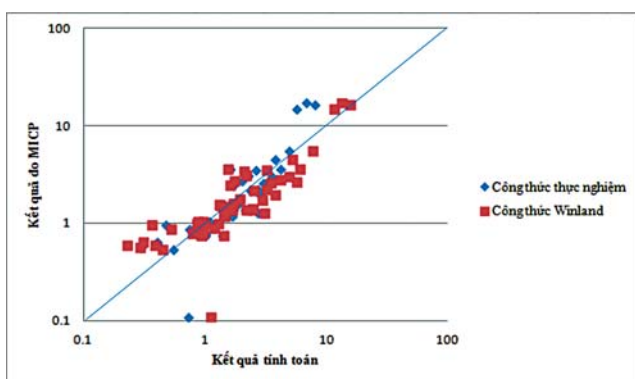
Kích thước kênh rỗng tại các cấp bão hòa thủy ngân	Hệ số a	Hệ số b	Hệ số c	Hệ số hồi quy R^2
R10	0,9402	0,6077	-0,7486	0,7445
R15	0,8519	0,5777	-0,7359	0,7109
R20	0,7402	0,5648	-0,6964	0,7646
R25	0,5975	0,5248	-0,6193	0,7487
R30	0,3564	0,4756	-0,4586	0,7360
R35	0,0172	0,4070	-0,2106	0,7103
R40	-0,2556	0,3536	-0,0194	0,6905
R45	-0,4684	0,2987	0,1356	0,6686
R50	-0,7505	0,2360	0,3509	0,6615
R55	-1,0591	0,1706	0,5784	0,6611
R60	-1,3698	0,1135	0,8055	0,6780
R65	-1,5290	0,0895	0,8994	0,6688
R70	-1,7349	0,0631	1,0207	0,6569
R75	-1,9102	0,0464	1,1097	0,6451

Bảng 2. So sánh kết quả tính toán kích thước kênh rỗng theo công thức thực nghiệm và đo bằng phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao

Độ bão hòa thủy ngân (%)	Kích thước kênh rỗng, micro	
	Kết quả đo bằng phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao	Kết quả tính toán theo công thức thực nghiệm
10	13	13,0
15	10,4	10,2
20	9,6	7,9
25	7,8	6,1
30	6,3	4,7
35	4,6	3,5
40	3,6	2,7
45	2,46	2,2
50	1,8	1,8
55	1,4	1,4
60	1,1	1,2
65	0,87	1,0
70	0,71	0,8
75	0,57	0,7



Hình 4. Kích thước kênh rỗng trên mẫu D



Hình 5. So sánh kết quả tính toán theo công thức thực nghiệm và công thức Winland

Kết quả phân tích hồi quy cho thấy tại độ bão hòa thủy ngân 20% hệ số hồi quy là cao nhất với $R^2 = 0,7646$, công thức có dạng:

$$\log(R20) = 0,7402 + 0,5648\log(k) - 0,6964\log(\phi) \quad (2)$$

Hình 3 là mô hình 3D thể hiện mối liên hệ giữa kích thước kênh rỗng, độ thấm và độ rỗng tại độ bão hòa thủy ngân 20%.

Bảng 1 tóm tắt các công thức liên hệ giữa độ thấm, độ rỗng và kích thước kênh rỗng tại các cấp bão hòa thủy ngân.

5. Dự đoán kích thước kênh rỗng từ phân tích mẫu lõi thông thường

Các công thức liên hệ giữa kích thước kênh rỗng, độ thấm và độ rỗng được sử dụng để dự đoán kích thước kênh rỗng tại độ bão hòa thủy ngân từ 10 - 75%. Điều này cho phép tính toán kích thước kênh rỗng từ kết quả phân tích mẫu lõi thông thường, sau đó so sánh với kết quả kích thước kênh rỗng được đo bằng phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao (Bảng 2). Kết quả so sánh kích thước kênh rỗng trên mẫu D (Hình 4) cho thấy giá trị tính toán từ công thức thực nghiệm phù hợp với giá trị đo bằng phương pháp bơm ép thủy ngân áp suất cao.

6. So sánh với công thức thực nghiệm của H.D. Winland

H.D.Winland đã xây dựng công thức liên hệ thực nghiệm giữa độ rỗng, độ thấm và kích thước kênh rỗng tại độ bão hòa thủy ngân 35%, công thức có dạng [3]:

$$\log(R35) = 0,732 + 0,588\log(k) - 0,864\log(\phi) \quad (3)$$

Kích thước kênh rỗng đá carbonate được tính toán theo công thức thực nghiệm trong nghiên cứu này và công thức Winland. Kết quả so sánh thể hiện trên Hình 5 cho thấy công thức thực nghiệm đưa ra kết quả kích thước kênh rỗng trên đá carbonate có độ chính xác cao hơn đối với khu vực nghiên cứu.

7. Kết luận

Nghiên cứu đã phát triển một công thức thực nghiệm để dự đoán kích thước kênh rỗng từ dữ liệu mẫu lõi thông thường trong trường hợp không thực hiện được thí nghiệm bơm ép thủy ngân áp suất cao.

Mối quan hệ giữa độ thấm, độ rỗng và kích thước kênh rỗng tại các cấp bão hòa thủy ngân từ 10 - 75% có thể được sử dụng để dự đoán kích thước kênh rỗng từ dữ liệu phân tích mẫu lõi thông thường.

Kích thước kênh rỗng được tính toán từ công thức thực nghiệm trong nghiên cứu phù hợp với kết quả của công thức Winland. Điều này chứng tỏ kích thước kênh

rỗng là một thông số quan trọng trong việc dự đoán giá trị độ thấm trên đá carbonate.

Tài liệu tham khảo

1. Sidney Diamond. *Pore size distribution in clays*. Clays and Clay Minerals. 1970; 18: p. 7 - 23.

2. Paul A. Webb. *An introduction to the physical characterization of materials by Mercury intrusion porosimetry with emphasis on reduction and presentation of experimental data*. Micromeritics Instrument Corp., Norcross, Georgia. January 2001.

3. Sami Mo. Aboujafar. *The use of high pressure MICP data in reservoir characterization, developing a new model for Libyan reservoirs*. SPE/EAGE Reservoir Characterization and Simulation Conference, Abu Dhabi, UAE. 19 - 21 October 2009.

4. Edward D. Pittman. *Estimating pore throat size in sandstones from routine core analysis data*. Search and discovery article #40009. 2001.

Pore throat size prediction from routine core analysis data of carbonate rocks in Song Hong basin

Ngo Thanh Vuong, Nguyen Hong Minh
Vietnam Petroleum Institute

Summary

Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) is usually used to characterise reservoir rock, evaluate seal capacity and detect the location of hydrocarbon accumulations. However, mercury injection tests cannot be conducted in some cases due to cost or sample amount issues.

In this study, the empirical equation is investigated to calculate pore throat size from routine core analysis data when mercury injection capillary pressure data is not available. The relation between permeability, porosity and pore throat size is detected by using multiple regression analysis on 50 carbonate samples data of Song Hong basin.