

## **ĐẶC TÍNH HÓA THỦY ĐỘNG LỰC CỦA CÁC VĨA CHỨA NÚT NẸ: ỨNG DỤNG MÔ HÌNH CÁC HỆ THỐNG NÚT NẸ RỜI RẠC**

NGUYỄN HẢI AN, NGUYỄN HOÀNG ĐỨC, *Tổng Công ty Thăm dò khai thác dầu khí*  
NGUYỄN THẾ VINH, LÊ XUÂN LÂN, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày giải pháp hiệu quả để kiểm chứng sự phân bố thực tế các hệ thống nứt nẻ trong vỉa chứa dầu khí nhằm đảm bảo cả độ chính xác của hệ thống nứt nẻ rộng lớn, phức tạp và sự tương tác khung đá-nứt nẻ ở mức độ vi mô với một số lượng ô lưới mô phỏng tối thiểu. Bằng việc ứng dụng mô hình các hệ thống nứt nẻ rời rạc với 3 ý tưởng: Sử dụng phương pháp hàm hiện cho hệ thống nứt nẻ với số lượng biến tối ưu, phù hợp với phạm vi tính toán lớn; Tương tác giữa hai môi trường rỗng được biểu diễn bằng hình thức luận độ rỗng kép; Mô phỏng dòng chảy giữa các khối khung đá. Đồng thời, kết hợp các phương trình cơ bản được sử dụng tương tự như hệ phương trình của Barenblatt và Zelthov đã đưa ra được phương pháp mô phỏng có tính bao quát, có thể áp dụng cho cả các vỉa chứa có hệ thống nứt nẻ dày đặc cũng như các vỉa chứa có hệ thống nứt nẻ mật độ thưa. Độ linh hoạt của phương pháp đảm bảo tìm ra giải pháp tối ưu giữa việc tìm lời giải chính xác và giảm yêu cầu về cấu hình tốc độ máy tính.

### **1. Giới thiệu**

Trong những năm gần đây, có nhiều chương trình nghiên cứu tập trung vào vấn đề vỉa chứa nứt nẻ và đạt được nhiều thành tựu giúp các công ty dầu khí gia tăng thu hồi dầu cũng như đảm bảo hiệu quả đầu tư. Các công trình nghiên cứu cho vỉa chứa nứt nẻ bao gồm các bước chính sau: đặc tính hóa các thông số địa chất của nứt nẻ, đặc tính hóa thủy động lực, thô hóa các tính chất và mô phỏng khai thác vỉa chứa nứt nẻ.

Việc nghiên cứu mô phỏng khai thác vỉa chứa nứt nẻ đã trải qua một quá trình lịch sử tương đối dài. Trong những năm 60 thế kỷ trước, Barenblatt và Zelthov [4] đã lần đầu giới thiệu và khái niệm độ rỗng kép, tiếp theo đó là Warren và Root đưa ra các đại diện đơn giản cho hệ thống nứt nẻ và được sử dụng trong các chương trình mô phỏng [5]. Dựa trên khái niệm này, các chương trình mô phỏng vỉa bây giờ có thể mô phỏng chính xác các cơ chế khai thác chính xuất hiện trong các vỉa chứa nứt nẻ như cơ chế nước thấm ướt, cơ chế tháo khô trọng lực dầu-khí và dầu-nước, sự khuếch tán phân tử và đối lưu trong các nứt nẻ. Thậm chí các chương trình mô phỏng môi trường một độ rỗng cũng có thể thực hiện được mô phỏng các vỉa

chứa nứt nẻ khi có các đường giả lập áp suất mao dẫn và độ thấm tương đối một cách tương đối chính xác [3]. Ngoài trừ các trường hợp đặc biệt như mô phỏng khai thác theo chế độ nhiệt thì mô hình mô phỏng vỉa chứa nứt nẻ không gặp phải vấn đề nghiêm trọng.

Đặc tính hóa các thông số địa chất của nứt nẻ có sự tiến bộ lớn trong những năm 90. Khó khăn lớn nhất là phân tích và tích hợp tất cả các số liệu nứt nẻ thích hợp để đưa ra mô tả tin cậy cho cả phạm vi mỏ và phạm vi ô lưới mô phỏng. Các công cụ đã được phát triển cho việc tích hợp địa chấn, tài liệu ảnh giếng khoan, thạch học và số liệu điểm lộ cùng với nhau để xác định được các quy luật địa chất, địa cơ học. Mức độ chính xác của số liệu địa chấn làm tăng tính chắc chắn của mô hình trong phạm vi rộng của cấu trúc hệ thống nứt nẻ, trong khi tài liệu ảnh giếng khoan đưa ra hình ảnh thực của nứt nẻ trong phạm vi dọc theo thân giếng, điều này làm tăng tính tin cậy của việc xác định các thuộc tính nứt nẻ theo phương pháp thống kê.

Việc thô hóa các tính chất của nứt nẻ là một vấn đề trong việc chuyển đổi các mô tả địa chất của hệ thống nứt nẻ sang các thông số mô phỏng khai thác vỉa chứa. Có hai cách tiếp cận thích hợp hiện nay. Ở cách thứ nhất, vỉa chứa

nứt nẻ được xem như via chứa cực kỳ bất đồng nhất, do đó sẽ áp dụng các kỹ thuật thô hóa thông thường cho môi trường một độ rỗng có mức độ bất đồng nhất cao. Các tiếp cận thứ hai là dựa trên khái niệm độ rỗng kép và sẽ thô hóa khung đá và nứt nẻ một cách riêng biệt. Trên cơ sở cách tiếp cận thứ hai, các phương pháp và phần mềm đã được phát triển trong những năm 90 để tính toán các thông số tính chất nứt nẻ tương ứng với các khái niệm độ rỗng kép, đó là các tenxơ độ thấm của nứt nẻ sẽ cho dòng chính và bất đẳng hướng, sử dụng hệ số hình dáng để kiểm soát sự tương tác của khung đá với nứt nẻ. Với một ô lưới cụ thể, quy trình thô hóa bao gồm việc tạo ra hệ thống nứt nẻ rời rạc ba chiều và tính toán các tham số tương ứng từ hệ thống này. Trong trường hợp đặc biệt, tenxơ độ thấm được tính từ các kết quả mô phỏng dòng chảy ổn định ở riêng hệ thống nứt nẻ rời rạc (không có khung đá).

Đặc tính hóa thủy động lực của các nứt nẻ nhằm mục đích kiểm chứng lại hệ thống nứt nẻ rời rạc được xây dựng từ các thông số địa chất với số liệu động và đồng thời hiệu chỉnh lại độ dẫn thủy của các nứt nẻ. Các công cụ hiện nay có thể xác định được độ mở của các nứt nẻ trong giếng nhưng nó vẫn không thể xác định được khả năng cho dòng của chúng. Thêm vào đó, chiều dài của các nứt nẻ thường rất khó xác định và tính toán trực tiếp từ quan sát các vết lộ. Do vậy khả năng cho dòng của hệ thống nứt nẻ và các thông số tương đương có thể bị đánh giá sai. Các số liệu khai thác động được sử dụng để kiểm soát hệ thống nứt nẻ cả về các đặc tính hình dáng và thủy lực. Thông thường, thông số lưu lượng sẽ cho biết dòng từ những khe nứt nào, còn số liệu thử vỉa cho biết độ thấm trung bình và yếu tố hình dáng của nứt nẻ ở vùng cận đáy giếng, trong khi thử giao thoa cho thông tin về mức độ bất đẳng hướng của độ thấm. Vấn đề đặt ra ở đây rằng liệu hệ thống nứt nẻ có nhất quán với các thông số khai thác động, và phải hiệu chỉnh thế nào để có thể phù hợp với các kết quả thử vỉa?

Để giải quyết các câu hỏi trên, toàn bộ số liệu khai thác động cho hệ thống nứt nẻ và khung đá cần phải được mô phỏng một cách đồng thời. Tuy nhiên, thực tế không có chương

trình máy tính truyền thống nào có thể thực hiện được yêu cầu mô phỏng này. Khó khăn đầu tiên do mức độ phức tạp của hệ thống nứt nẻ cùng với số lượng các nứt nẻ có chiều dài, độ mở, hướng và góc dốc khác nhau. Khó khăn thứ hai liên quan đến môi trường khung đá rất quan trọng bởi vì chúng chiếm tỷ trọng lớn của tổng lượng dầu và các đặc tính của khung đá sẽ ảnh hưởng đến động thái chuyển tiếp của quá trình thử vỉa. Thêm vào đó, khó khăn thứ ba là kích thước của khu vực được mô phỏng. Hệ thống nứt nẻ liên thông có độ thấm rất lớn, do vậy diện tích vùng tháo khô của giếng khoan trong vỉa chứa nứt nẻ cũng rất rộng. Việc mô phỏng khai thác sẽ cần tính toán cho một khu vực lớn để có thể mô phỏng được các hiệu ứng biên.

Mô hình dòng chảy được trình bày trong bài báo này sẽ giải quyết được các vấn đề trên và có thể đại diện cho phạm vi lớn, phức tạp của hệ thống nứt nẻ cũng như mô phỏng được tương tác dòng chảy giữa khung đá-nứt nẻ. Các kết quả áp dụng thực tế cho vỉa chứa nứt nẻ ở Việt Nam, đặc biệt là mỏ Cá Ngừ Vàng và mỏ Sư Tử Đen đã được giới thiệu tại các tài liệu [1, 2, 3].

## 2. Khái quát

Áp dụng trực tiếp định luật Darcy cho cả môi trường nứt nẻ và khung đá đã được nghiên cứu cho các mục đích đồng hóa hai môi trường nứt nẻ chứa dầu. Trong mô hình hai chiều, một số phương pháp đã được đưa ra như các phương pháp thể tích hữu hạn, phương pháp ngẫu nhiên, hoặc phương pháp tích phân biên. Trong mô hình ba chiều, Bogdanov [11] đã đưa ra cách tiếp cận "Phần tử hữu hạn kiểm soát". Khó khăn của các phương pháp này là số lượng biến bị giới hạn bởi khả năng tính toán của máy tính.

Để mô phỏng dòng chảy chuyển tiếp trong hệ thống nứt nẻ, Dershowitz và Miller [12] đã phát triển mô hình vật lý đơn giản sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cho mô hình nứt nẻ ba chiều và cách tiếp cận giả ổn định cho tương tác dòng chảy giữa hai môi trường rỗng (khung đá-nứt nẻ). Với cách tiếp cận này, Warren và Root [5] đã cho rằng dòng chảy giữa khung đá và nứt nẻ là do chênh lệch áp suất giữa hai môi trường và giả định các khối khung đá có hình dáng, thể tích không đổi cho mỗi ô

lưới mô phỏng nên hệ số trao đổi là đồng nhất cho toàn mô hình.

### 3. Mô tả mô hình

Ý tưởng cơ bản đầu tiên của phương pháp được trình bày trong bài báo là sử dụng phương pháp hàm hiện cho hệ thống nứt nẻ với số lượng biến tối ưu, phù hợp với phạm vi tính toán lớn nhưng phải đảm bảo tính chất của hệ thống nứt nẻ phải được biểu diễn chính xác. Ý tưởng thứ hai, tương tác giữa hai môi trường rỗng được biểu diễn bằng hình thực luận độ rỗng kép. Với giả thiết rằng dòng chảy ở phạm vi rộng do hệ thống nứt nẻ tác động, dòng chảy cục bộ từ khung đá tới nứt nẻ chậm hơn rất nhiều và do đó chúng có thể mô phỏng bằng cách sử dụng phương pháp giả ổn định. Các điểm ưu việt của phương pháp là mô phỏng đồng thời các khối khung đá cùng với các ô lưới nứt nẻ và có tính toán tương tác thủy lực giữa hai môi trường rỗng. Hình dáng và thể tích của các khung đá phụ thuộc vào hình dáng cục bộ của môi trường nứt nẻ. Do vậy, mặc dù tiếp cận theo phương pháp giả ổn định, quá trình tương tác ở phạm vi mô đã phản ánh tốt tính bất đồng nhất trên cơ sở tập hợp của nhiều khung đá có hình dáng khác nhau.

Ý tưởng thứ ba, dòng chảy giữa các khối khung đá cũng sẽ được mô phỏng và đây là điểm chính của phương pháp. Ở trong hầu hết các vỉa chứa nứt nẻ, mật độ nứt nẻ biến đổi lớn theo vị trí trong không gian và phụ thuộc vào tương địa chất, chiều dày vỉa chứa hoặc khoảng cách tới các đứt gãy chính. Do vậy, các khu vực có hệ thống các nứt nẻ dày đặc và liên thông có thể tồn tại bên cạnh những khu vực có các nứt nẻ không liên thông. Để có thể mô phỏng chính xác dòng chảy qua các vùng này, ta cần phải tính đến sự tương tác giữa các khối khung đá. Chẳng hạn trong trường hợp thử giao thoa giữa hai giếng trong môi trường nứt nẻ liên thông kém, không có kênh dẫn từ giếng này tới giếng kia qua hệ thống nứt nẻ. Trong thực tế tính toán, các khối khung đá có thể tích biến đổi và hình dáng bất thường, cần phải sử dụng các thuật toán đặc biệt cho tính toán dòng chảy giữa các khối. Có hai cách tiếp cận đang được phát triển áp dụng phương pháp thể tích phần tử hữu hạn cho tính toán dòng chảy trên cơ sở sử dụng hình

ảnh của các khối khung đá: dùng thuật toán xử lý ảnh; xây dựng đa giác bao quanh khung đá.

Cùng với 3 ý tưởng trên, các phương trình cơ bản (1) được sử dụng tương tự như hệ phương trình của Barenblatt và Zelthov [4]:

$$\begin{cases} \nabla \cdot (k_m \nabla P_m) - \alpha_{mf} (P_m - P_f) = c_m \cdot \mu_o \cdot \phi_m \cdot \frac{\partial P_m}{\partial t} \\ \nabla \cdot (k_f \nabla P_f) + \alpha_{mf} (P_m - P_f) = c_f \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial P_f}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

Theo cách tiếp cận này, các điểm khác biệt so với mô phỏng độ rỗng kép thông thường bao gồm: hệ số hình dáng  $\alpha_{mf}$  phụ thuộc vào tính chất cục bộ của các khối khung đá và môi trường nứt nẻ; tương tác khung đá-nứt nẻ được xác định là không đồng nhất trong không gian.

Rời rạc hóa theo thời gian và không gian cho các ô lưới nứt nẻ và các khối khung đá được thể hiện theo hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} c_m \cdot V_{m,j} \phi_{m,j} \cdot \frac{P_{m,j}^{n+1} - P_{m,j}^n}{t^{n+1} - t^n} + \sum_j \frac{T_{mm,j}}{\mu_o} (P_{m,j}^{n+1} - P_{m,j}^{n+1}) \\ + \frac{T_{mf,j}}{\mu_o} (P_{m,j}^{n+1} - P_{f,j}^{n+1}) = Q_{m,j} \\ c_f \cdot V_{f,j} \cdot \frac{P_{f,j}^{n+1} - P_{f,j}^n}{t^{n+1} - t^n} + \sum_k \frac{T_{ff,jk}}{\mu_o} (P_{f,j}^{n+1} - P_{f,k}^{n+1}) \\ - \frac{T_{mf,j}}{\mu_o} (P_{m,j}^{n+1} - P_{f,j}^{n+1}) = Q_{f,j} \end{cases} \quad (2)$$

trong đó: các chỉ số  $j$  và  $k$  lần lượt là chỉ số cho các ô kế tiếp của ô lưới khung đá và nứt nẻ,  $Q_{mi}$  và  $Q_{fi}$  là lưu lượng đầu vào của ô lưới khung đá và ô lưới nứt nẻ ( $m^3/s$ ). Tất cả các lưu lượng đều bằng 0 tại hầu hết các vị trí ngoại trừ vị trí giếng khoan hoặc ranh giới thủy lực. Các thông số: thời gian  $t$  (giây); áp suất  $P$  (bar); độ nén  $c$  (1/bar); thể tích ô lưới  $V$  ( $m^3$ ); độ truyền dẫn  $T$  (md.m); độ rỗng  $\phi$  (pđv); độ nhớt  $\mu$  (cP).

### 4. Rời rạc hóa

Việc biểu diễn nứt nẻ trong không gian 3 chiều đã được đề cập ở trong nhiều bài báo [2, 3, 7, 9]. Phân bố hệ thống nứt nẻ được rời rạc hóa thành một loạt các lớp theo chiều thẳng đứng và sẽ bao gồm các phần tử mặt phẳng xác định bởi hướng, góc dốc, chiều dài, độ dẫn, độ mở và các phần tử nứt nẻ kế tiếp ở lớp bên trên và bên dưới. Do vậy, một nứt nẻ hoàn chỉnh được tạo thành từ các phần tử hình chữ nhật liên kết theo phương ngang. Ưu điểm của cách mô tả đại diện này là hệ thống nứt nẻ phức tạp có

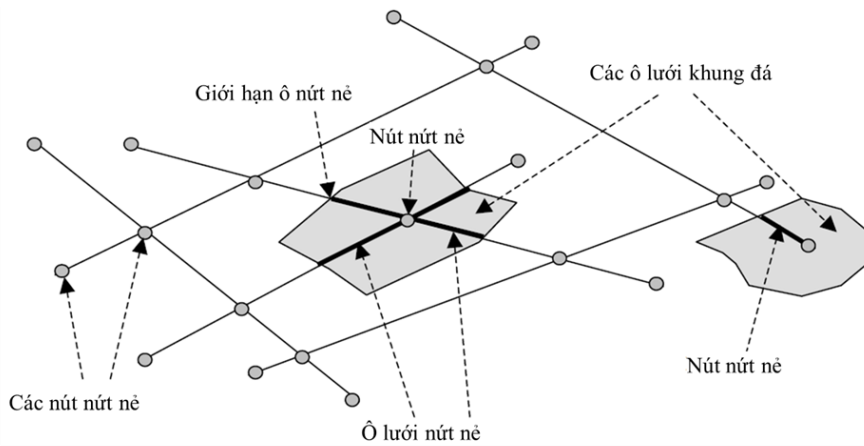
thể dễ dàng được mô tả bằng một chuỗi các phần tử hình hộp đơn giản.

#### 4.1. Rời rạc hóa hệ thống nứt nẻ

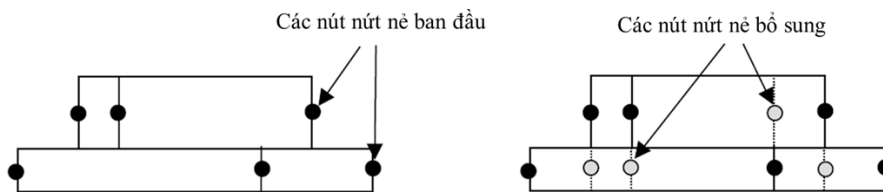
Đơn giản hóa quá trình rời rạc hệ thống nứt nẻ đem lại nhiều ưu điểm như: trong mỗi lớp, các nút được đặt tại giao điểm của các nứt nẻ hoặc các điểm đầu/cuối; vị trí theo phương thẳng đứng của chúng thể hiện bởi điểm giữa của lớp; các nút chính là tâm của các ô lưới đại diện nứt nẻ. Do đó, các giới hạn của nứt nẻ được đặt tại trung điểm giữa các tâm ô lưới. Hình 1 biểu diễn một số liên kết các nứt nẻ. Tâm ô lưới nứt nẻ được biểu diễn bằng các vòng tròn xám. Có hai loại điểm nút nứt nẻ: giao cắt giữa các nứt nẻ và điểm đầu/cuối nứt

nẻ. Hai ô lưới nứt nẻ được biểu diễn bằng màu đậm. Ô đầu tiên được tạo thành từ hai nứt nẻ cắt nhau và ô thứ hai được tạo thành từ một nứt nẻ.

Với hệ thống nứt nẻ 3D, bổ sung thêm một số nút để tạo thành hình hộp. Hình 2 biểu hiện một mặt phẳng của nứt nẻ được tạo thành từ hai phần tử hình hộp từ hai lớp kế tiếp nhau. Vòng tròn đen là nút của các nứt nẻ giao cắt hoặc điểm cuối của nứt nẻ. Vòng tròn xám biểu diễn các nút bổ sung. Với mỗi nút ban đầu, các nút bổ sung được đặt ở lớp phía trên và dưới dọc theo đường thẳng là các vết cắt của nứt nẻ. Các nút đen và xám cùng tạo thành khối hộp của nứt nẻ.



Hình 1. Rời rạc hóa hệ thống nứt nẻ 2 chiều - các ô lưới nứt nẻ và khung đá



Hình 2. Rời rạc hóa phương thẳng đứng cho hệ thống nứt nẻ ba chiều

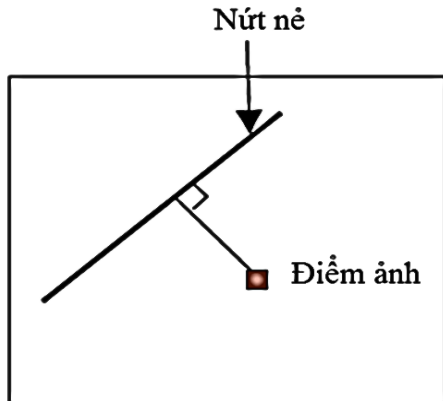
#### 4.2. Rời rạc hóa môi trường khung đá

Tiếp theo việc rời rạc hóa nứt nẻ, mục đích của rời rạc hóa khung đá là để mỗi một ô lưới nứt nẻ luôn có khung đá kèm theo. Quy trình này được thực hiện theo từng lớp, trong mỗi một lớp sẽ giải quyết vấn đề về không gian hai chiều. Phương pháp của bài báo là mỗi một ô lưới nứt nẻ sẽ đi kèm một ô lưới khung đá ở gần nó hơn bất kỳ ô lưới nứt nẻ nào khác. Trong trường hợp này, các mặt được thay thế bằng các khối nứt nẻ. Có thể minh họa bằng thí nghiệm

sau: tất cả các nứt nẻ đột nhiên hình thành và duy trì một giá trị áp suất không đổi (khi khai thác chất lưu), tạo chênh áp với khung đá. Chất lưu từ khung đá sẽ chảy vào nứt nẻ một lượng thể tích được xác định theo hệ phương trình (1) và (2). Trên hình 1, các khối khung đá được biểu diễn bằng các bề mặt xám. Các điểm bất kỳ trong diện tích bề mặt xám sẽ là gần nhất tới ô nứt nẻ tương ứng (khối đen).

Để xác định hình dáng (theo diện trong không gian 2D) của khối khung đá, thuật toán

xử lý ảnh nhanh được áp dụng. Hệ thống nứt nẻ được vẽ theo phương pháp ảnh số tạo ra từ hàng triệu điểm ảnh. Sau đó thuật toán sẽ thực hiện các phép tính cho mỗi điểm ảnh, khoảng cách từ điểm ảnh tới nứt nẻ gần nhất và số ô lưới cần thiết cho nứt nẻ. Cách tính toán khoảng cách giữa nứt nẻ và điểm ảnh được thể hiện trên hình 3. Thuật toán xử lý rất nhanh, với cấu hình máy tính hiện nay mất khoảng dưới một giây CPU cho một triệu điểm ảnh.



Hình 3. Xử lý ảnh: tính toán khoảng cách từ điểm ảnh tới nứt nẻ

Hình 5 biểu diễn một hệ thống nứt nẻ hai chiều (2D) và khung đá tính toán từ thuật toán xử lý điểm ảnh. Có thể thấy các khối khung đá có hình dáng và kích thước khác nhau và đều có hình dạng biên bất kỳ. Mặc dù giới hạn các khối khung đá có hình dáng ngẫu nhiên, nhưng việc rời rạc hóa này là cách chia tối ưu cho môi trường khung đá và nứt nẻ.

### 5. Tính toán độ truyền dẫn

Trong phần này tác giả sẽ đưa ra về phương pháp và các phương trình được sử dụng cho tính toán các thông số độ truyền dẫn của các môi trường rỗng.

#### 5.1. Độ truyền dẫn từ nứt nẻ tới nứt nẻ

Do hệ thống ô lưới các nứt nẻ được tạo thành từ các khối hình hộp tương ứng với các mặt nứt nẻ nên độ truyền dẫn từ nứt nẻ tới nứt nẻ được xác định theo phương trình (3).

$$T_{ff} = \sum_i \frac{C_i l_i}{L} \quad (3)$$

trong đó:

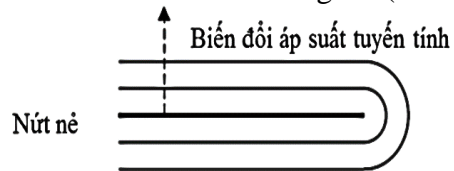
$l$  là khoảng cách giữa các nứt nẻ, (m);

$L$  là chiều dài cạnh của phần tử nứt nẻ, (m);

$C$  là khả năng cho dòng riêng phần của nứt nẻ, (md.m).

#### 5.2. Độ truyền dẫn từ nứt nẻ tới khung đá

Do các khối khung đá có hình dáng bất thường nên không thể tính trực tiếp độ truyền dẫn giữa các ô nứt nẻ và khối khung đá xung quanh mà cần phải đặt ra các giả định vật lý về sự phân bố áp suất trong hệ thống. Giả thiết thứ nhất: với mỗi khối khung đá cho trước, áp suất trong ô lưới nứt nẻ tương ứng là không đổi nếu so sánh với sự biến đổi của áp suất bên trong khối khung đá. Trong thực tế, khả năng cho dòng của nứt nẻ là lớn hơn rất nhiều so với khung đá. Giả thiết thứ hai: áp suất khung đá biến đổi tuyến tính từ nứt nẻ tới biên khối khung đá. Giả thiết này khá chính xác đối với các điểm khung đá nằm dọc các ô lưới nứt nẻ. Tuy nhiên, tại gần các điểm kết thúc của nứt nẻ, áp suất sẽ biến đổi theo hàm logarit (hình 4).



Hình 4. Các đường đẳng áp trong ô lưới khung đá

Dựa trên các giả thiết trên, các đường đẳng áp suất trong khung đá sẽ chính là đường đồng khoảng cách tới nứt nẻ, đường áp suất trung bình ứng với đường khoảng cách trung bình. Như vậy độ truyền dẫn từ khung đá tới nứt nẻ được coi như độ truyền dẫn giữa đường khoảng cách trung bình bên trong khung đá tới bề mặt nứt nẻ. Khoảng cách trung bình từ một điểm ảnh của khối khung đá tới nứt nẻ được tính toán nhờ thuật toán xử lý điểm ảnh. Độ truyền dẫn từ khung đá tới nứt nẻ được tính theo công thức sau:

$$T_{mf} = \frac{2l_f H k_m}{D} \quad (4)$$

ở đây:  $l$  là chiều dài nứt nẻ, (m);

$H$  là chiều dày lớp, (m);

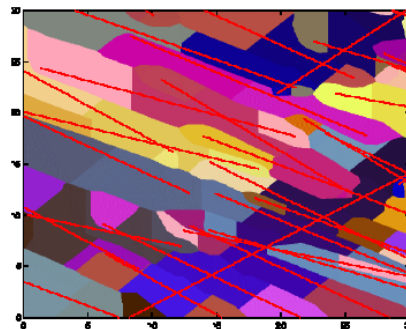
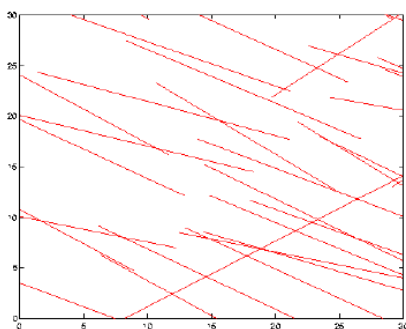
$k_m$  là độ thấm khung đá, (md);

$D$  là trung bình khoảng cách của tất cả các điểm ảnh tới nứt nẻ.

và:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (5)$$

$N$  là số các điểm ảnh của khối khung đá. Trong công thức (4), hệ số 2 được sử dụng do tính cho hai mặt của nứt nẻ.

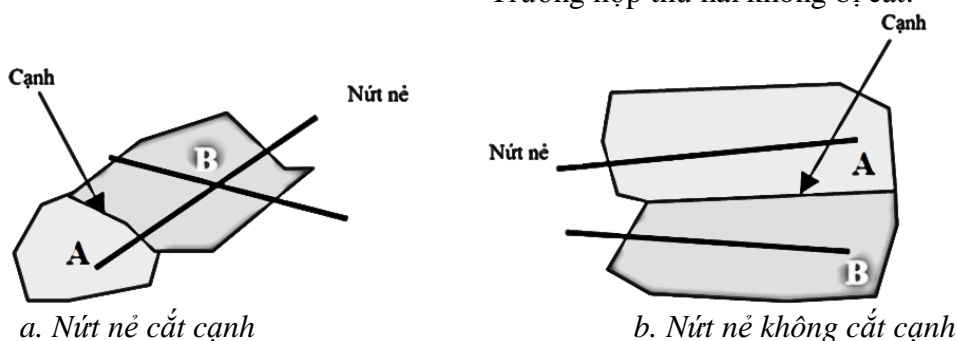


Hình 5. Hệ thống nứt nẻ và ô lưới khung đá tương ứng

### 6. Độ truyền dẫn từ khung đá tới khung đá

Phương pháp số truyền thống không thể áp dụng cho hình dáng phức tạp của các khối khung đá. Như đã đề cập ở phần trước, có hai cách tiếp cận đang được phát triển. Cách thứ nhất dựa trên các giả thiết vật lý về sự phân bố đường dòng giữa các nứt nẻ và sử dụng thuật toán xử lý ảnh. Cách thứ hai sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn của hình ảnh khối khung đá.

Trong cách thứ nhất, ý tưởng cơ sở là sử dụng sơ đồ hai điểm đại diện của dòng chảy giữa hai khối khung đá liền nhau. Cách tiếp cận này sử dụng các ô lưới trực giao nhau giống như ô lưới Voronoi. Giả thiết rằng các dòng chảy sẽ vuông góc với các cạnh của khung đá do vậy sử dụng sơ đồ hai điểm là phù hợp. Hình 6 trình bày hai trường hợp. Trường hợp thứ nhất, cạnh giữa hai khối khung đá bị nứt nẻ cắt qua. Trường hợp thứ hai không bị cắt.



Hình 6. Độ dẫn từ khung đá tới khung đá

Trong trường hợp hai (hình 6b), theo các giả thiết rằng trong mỗi khối khung đá thì áp suất nứt nẻ không thay đổi, ta sẽ gặp vấn đề khi tâm của các ô lưới không phải là một điểm mà là toàn bộ khối. Do vậy cần phải tính độ dẫn giữa hai khối nứt nẻ cắt qua cạnh chung của các khung đá. Trên hình 6b giả thiết hướng dòng chảy vuông góc với cạnh là phù hợp vì cạnh cách đều hai nứt nẻ.

Độ dẫn được tính theo công thức:

$$T_{mm} = k_m H \int_0^l \frac{ds}{d(s)} \quad (6)$$

ở đây:  $l$  là chiều dài cạnh, (m);

$ds$  là khoảng cách từ cạnh tới nứt nẻ tại điểm  $s$ , (m);

$H$  là chiều dày ô lưới, (m).

Trong trường hợp một (hình 6a), cần lưu ý rằng giữa hai điểm A và B, cần xem xét hai dòng chảy: một chảy qua môi trường khung đá và một qua môi trường nứt nẻ. Nếu nứt nẻ liên thông thì dòng chảy trong nứt nẻ sẽ chiếm chủ đạo. Nói cách khác thì độ truyền dẫn của khung đá tới khung đá sẽ nhỏ hơn so với độ truyền dẫn từ nứt nẻ tới nứt nẻ ở cùng một vị trí. Công thức tính độ dẫn ở trường hợp này như sau:

$$T_{mm} = k_m H \frac{l}{L_{AB}} \quad (7)$$

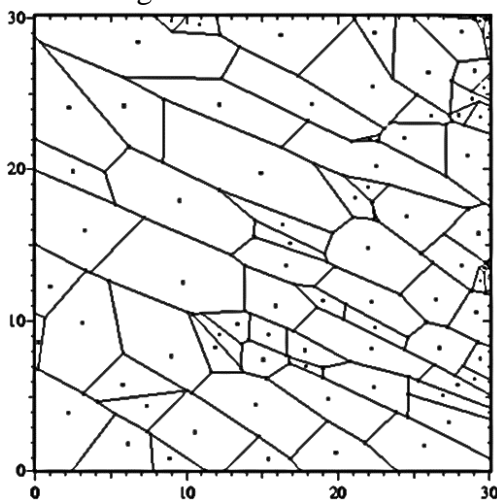
ở đây:  $l$  là chiều dài cạnh, (m);

$L_{AB}$  là độ dài đoạn AB, (m).

Trong cách tiếp cận thứ hai, để đánh giá chính xác dòng chảy giữa các khung đá ta áp dụng sơ đồ thể tích hữu hạn cho dòng chảy liên tục trên khối đa giác được xác định từ hình ảnh

số của các khối khung đá. Trong các khối, các đỉnh được đặt tại các điểm ảnh kết nối từ hai khối khung đá trở lên. Các đa giác được tạo thành bằng cách liên kết các đỉnh (hình 7).

Đối với các trường hợp có sử dụng cách tiếp cận này, các kết quả đều giống như sử dụng cách tiếp cận đầu sử dụng hai điểm dòng chảy. Ở thời điểm hiện nay, vẫn còn ba vấn đề kỹ thuật trong việc chuyển đổi hình ảnh sang khối đa giác ở một số trường hợp phức tạp. Như ở trong cách tiếp cận thứ hai yêu cầu làm mịn các điểm ảnh cục bộ trong một số trường hợp khi các nứt nẻ khá gần nhau.



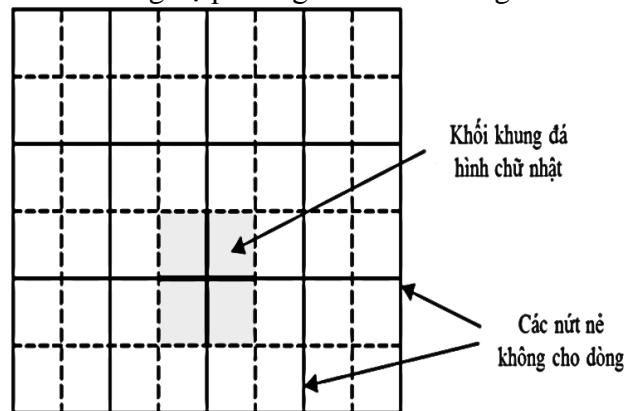
Hình 7. Khối đa giác của các ô lưới khung đá

### 7. Tính linh hoạt của phương pháp

Ưu điểm lớn nhất của phương pháp được đưa ra trong bài báo chính là tính linh hoạt. Nhờ thuật toán xử lý ảnh nhanh, phương pháp có thể áp dụng cho các hệ thống nứt nẻ cực kỳ phức tạp. Thêm vào đó, việc tính toán độ truyền dẫn được cho là cực kỳ mạnh. Các thuật toán hoạt động ngay cả khi ảnh ở dạng thô như trường hợp sử dụng ít điểm ảnh. Tất nhiên nếu sử dụng nhiều điểm ảnh thì sẽ cho kết quả có độ tin cậy cao hơn và số lượng điểm ảnh không phải là vấn đề đối với cấu hình máy tính hiện nay. Cuối cùng, với việc sử dụng hai điểm dòng chảy trong cách tiếp cận thứ nhất, các khối khung đá số hóa được điều chỉnh ngược lại trong mỗi khoảng thời gian luôn là đường chéo ưu thế, đây là điều kiện tốt.

Trong một số trường hợp, hệ thống ô lưới mịn cần được sử dụng nhằm đảm bảo mô phỏng chính xác dòng chảy trong khung đá. Tính linh hoạt của phương pháp cho phép làm mịn ô lưới

khung đá rất dễ dàng với các ô lưới ở những nứt nẻ không cho dòng và chồng lên hệ thống nứt nẻ ban đầu. Như ở trên hình 8, các khối khung đá hình chữ nhật nhỏ được tự động tạo ra trong vùng khung đá. Ngoài ra, độ truyền dẫn từ khung đá tới khung đá có cùng công thức tính như việc sử dụng sơ đồ số học bình thường cho ô lưới hình chữ nhật (trình bày trong phần tính toán độ dẫn từ khung đá tới khung đá). Hơn nữa, do các nứt nẻ không cho dòng nên sẽ không có tính toán độ truyền dẫn từ nứt nẻ tới nứt nẻ trong hệ phương trình cuối cùng.



Hình 8. Làm mịn hệ thống ô lưới khung đá

### 8. Kết luận

Trong khi việc mô tả các vỉa chứa nứt nẻ có nhiều tiến bộ đáng kể trong những năm gần đây, thì đặc tính hóa thủy lực của hệ thống nứt nẻ vẫn còn là bước khó khăn do mức độ phức tạp về hình dạng của chúng. Việc mô phỏng dòng chảy theo phương pháp hàm hiện đã đưa ra cách giải quyết vấn đề một cách hiệu quả. Đó là dùng cách kiểm chứng hình dạng của hệ thống đứt gãy/nứt nẻ và đánh giá độ truyền dẫn của chúng từ kết quả phục hồi số liệu khai thác.

Phương pháp mô phỏng đưa ra mang tính bao quát cao, do đó có thể áp dụng cho cả các vỉa chứa có hệ thống nứt nẻ dày đặc cũng như các vỉa chứa có hệ thống nứt nẻ mật độ thưa. Độ linh hoạt của phương pháp đảm bảo tìm ra giải pháp tối ưu giữa việc tìm lời giải chính xác và giảm yêu cầu về cấu hình tốc độ máy tính.

Các kỹ sư công nghệ mỏ và địa chất cần có một công cụ để tích hợp cả mô hình tĩnh và động cho các nứt nẻ và đứt gãy. Công việc này đặc biệt quan trọng để đảm bảo tính tin cậy của mô hình mỏ được xây dựng từ việc thô hóa mô hình có ô lưới mịn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Hải An, 2012. Nghiên cứu ứng dụng giải pháp thu hồi dầu tam cấp bằng bơm ép CO<sub>2</sub> cho tầng móng nứt nẻ mỏ Sư Tử Đen. Luận án tiến sỹ kỹ thuật khai thác dầu khí, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Hải An, Nguyễn Hoàng Đức, Nguyễn Thế Vinh, Lê Xuân Lan và nnk, 2015. Xây dựng mô hình độ rỗng kép cho thân dầu móng nứt nẻ mỏ Cá Ngừ Vàng. Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, số 49, 01-2015, trang 1-7.
- [3]. Nguyễn Hải An, Ngô Hữu Hải, Nguyễn Hoàng Đức, và nnk, 2015. Đặc tính vỉa chứa và mô hình độ rỗng kép mô phỏng khai thác đối tượng móng nứt nẻ mỏ Cá Ngừ Vàng Tạp chí Dầu khí, số 7/2015, trang 18-23.
- [4]. Barenblatt, G.I., Zheltov, Iu P. and Kochina I.N, 1960. Basic Concepts in the Theory of Seepage of Homogeneous Liquids in Fissured Rocks. J. Appl. Math. 24, 1286.
- [5]. Warren, J.E. and Root, P.J, 1963. The Behavior of Naturally Fractured Reservoirs", SPE Journal (Sept. 1963) 245.
- [6]. Sabathier, J.C., Bourbiaux, B.J., Cacas, M.C. and Sarda.S, 1998. A New Approach of Fractured Reservoirs, paper SPE 39825 presented at the 1998 SPE International Petroleum Conference and Exhibition of Mexico, Villahermosa, Mexico, March 3-5.
- [7]. Granet, S., Fabrie, P., Lemonnier, P. and Quintard, M, 2000. A twophase flow simulation of fractured reservoirs using a new fissure element method, to be published in Journal of Petroleum Science and Engineering.
- [8]. Landereau, P., Caillabet, Y., Fabrie, P., Noetinger, B. and Quintard, M, 1998. Use of the Joint-Elements Technique to Calculate Large-Scale Properties for Single-Phase Flow in Naturally Fractured Media, paper presented at the 1998 European Conference on the Mathematics of Oil Recovery, Peebles, Scotland, Sept. 8-11.
- [9]. B. Noetinger and T. Estébenet, 1998. Application of Random Walk Methods on Unstructured Grids to Up-Scale Fractured Reservoirs, paper presented at the 1998 European Conference on the Mathematics of Oil Recovery, Peebles, Scotland, Sept. 8-11.
- [10]. Lough, M.F, Lee, S.H. and Kamath, J. 1998. An Efficient Boundary Integral Formulation for Flow Through Fractured Porous Media, Journal of Computational Physics 143, 462.
- [11]. Bogdanov, I., Mourzenko, V., Thovert, J.F. and Adler, P, 2000. Permeability of fractured porous media, paper presented at the 2000 European Conference on the Mathematics of Oil Recovery, Baveno, Italy, Sept. 5-8.
- [12]. Dershowitz, W. and Miller, I, 1995. Dual porosity fracture flow and transport, Geophysical Research Letters 22, No. 11, 14.

## ABSTRACT

### Hydraulic Characterization of Fractured Reservoirs: Application on Discrete Fracture Models

Nguyen Hai An, Nguyen Hoang Duc, PetroVietnam Exploration Production Corporation  
Nguyen The Vinh, Le Xuan Lan, Hanoi University of Mining and Geology

This paper presents an effective patented solution to both validate the actual distribution of fracture networks in reservoirs to ensure the accuracy of the large, complex fractured medium, and matrix-fracture exchanges interaction at the micro level with a minimum number of grid-blocks.

By applying the model of discrete fracture network with 3 ideas: Using explicitly discretize the fracture network with an optimum number of numerical unknowns, accord with large computational domain; The matrix-fracture exchanges are represented using the dual-porosity formalism; Flows between matrix blocks are simulated. Combining the basic equation used similar equations of Barenblatt and Zeltov [4] the proposed simulation method is general as it enables to deal both with densely-fractured reservoirs and with fields crossed by sparse or irregular fracture/fault networks. Its flexible implementation enables to find an optimal compromise between the accuracy of solutions and the computational requirements.