

# DỰ ĐOÁN CHIỀU CAO KHE NỨT TẠO THÀNH TRONG NỨT VỈA THỦY LỰC

Khương Vĩ Lâm, Đỗ Quang Khánh, Lê Phước Hảo

Khoa Địa Chất - Dầu Khí, Trường Đại Học Bách Khoa- ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 11 tháng 9 năm 2002)

**TÓM TẮT:** Kích thước khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực có một mối quan hệ khá chặt chẽ với nhau. Chúng ta không thể tạo ra một khe nứt dài hàng trăm mét mà chiều cao chỉ một vài centimét. Do đó, dự đoán "chính xác" chiều cao khe nứt tạo thành là cơ sở để tính toán các kích thước còn lại của khe nứt. Bài báo này trình bày việc ứng dụng phương pháp lặp và phương pháp mạng nơron nhân tạo để dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành khi nứt vỉa thủy lực trong một thành hệ có ứng suất phân lớp.

## 1. GIỚI THIỆU

Việc tính toán các kích thước của khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực đóng một vai trò rất quan trọng trong công tác thiết kế cũng như trong quá trình xử lý. Tuy nhiên, do chiều rộng, chiều dài và chiều cao khe nứt có mối quan hệ nhất định [1], ta chỉ cần biết một yếu tố và dựa vào các mô hình tính để suy ra hai yếu tố còn lại. Thông thường, đất đá trong thành hệ có sự phân lớp theo chiều thẳng đứng nên việc dự đoán chiều cao khe nứt dựa trên sự thay đổi tính chất của các lớp thẳng đứng dọc theo thành giếng khoan là khả thi hơn cả.

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày việc ứng dụng hai phương pháp lặp và phương pháp nơron nhân tạo để dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành khi nứt vỉa thủy lực trong một thành hệ có ứng suất phân lớp. Các kết quả tính toán theo cả hai phương pháp được so sánh với kết quả của John L.Gidley [1].

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Phương pháp lặp

Trong nứt vỉa thủy lực, khe nứt tạo thành trong một thành hệ có ứng suất phân lớp (hình 1) thường sẽ phát triển theo kiểu khe nứt mở (mode I) được đặc trưng bởi hệ số cường độ ứng suất  $K_I$  ( $\text{psi}\sqrt{\text{in}}$ ):

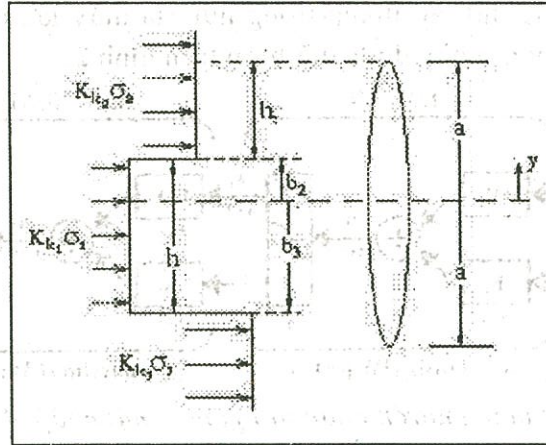
$$K_I = \frac{1}{\sqrt{\pi a}} \int_{-a}^a p(y) \sqrt{\frac{a+y}{a-y}} dy \quad (1)$$

trong đó  $a$  là một nửa chiều cao khe nứt,  $p(y)$  là hiệu số giữa áp suất do dung dịch nứt vỉa tạo ra và ứng suất của tầng xử lý tại vị trí  $y$ .

Nếu  $K_I$  tại hai đỉnh của khe nứt lớn hơn một giá trị hệ số cường độ ứng suất tới hạn được gọi là độ cứng của đất đá  $K_{Ic}$  ( $K_{Ic}$  chỉ phụ thuộc loại đất đá của tầng chứa và được đo trong phòng thí nghiệm) thì khe nứt tiếp tục được phát triển. Nói một cách khác, khe nứt sẽ dừng phát triển khi  $K_I = K_{Ic}$ . Tổng quát, khảo sát trường hợp khe nứt tạo thành trong thành hệ có ứng suất phân lớp thì điều kiện cân bằng của hệ số cường độ ứng suất tại đỉnh đầu và đỉnh cuối của khe nứt sẽ là:

$$K_{I\text{top}} = K_{Ic\text{top}} \quad (2)$$

$$K_{I\text{bot}} = K_{Ic\text{bot}} \quad (3)$$



Hình 1: Khe nứt tạo thành trong thành hệ có ứng suất phân lớp

Tích phân phương trình (2), (3) và biến đổi, ta được hai phương trình sau:

$$\frac{\sqrt{\pi}(K_{lc\text{top}} + K_{lc\text{bot}})}{2\sqrt{a}} = (\sigma_2 - \sigma_1)\sin^{-1}\left(\frac{b_2}{a}\right) + (\sigma_3 - \sigma_1)\sin^{-1}\left(\frac{b_3}{a}\right) - (\sigma_2 + \sigma_3 - 2P)\frac{\pi}{2} \quad (4)$$

$$\frac{\sqrt{\pi}a(K_{lc\text{bot}} - K_{lc\text{top}})}{2} = (\sigma_2 - \sigma_1)\sqrt{a^2 - b_2^2} - (\sigma_3 - \sigma_1)\sqrt{a^2 - b_3^2} \quad (5)$$

cùng với phương trình ràng buộc hình học:

$$b_2 + b_3 = h \quad (6)$$

trong đó  $h$  là bề dày của tầng xử lý.

Về lý thuyết, hệ phương trình (4), (5) và (6) với ba ẩn số  $a$ ,  $b_2$  và  $b_3$  có thể giải được. Tuy nhiên, do  $a$  xuất hiện bên trong và bên ngoài hàm lượng giác nên đòi hỏi phải giải hệ phương trình trên bằng phương pháp lặp trên máy tính bằng cách như sau: cho  $a$  tăng dần từ giá trị cực tiểu  $h/2$  giải tìm  $b_2$  và  $b_3$ . Nhưng do hệ số hình học  $b_2$  biến thiên trong một khoảng khá rộng nên việc tính  $b_2$  cũng gặp nhiều khó khăn. Để giải quyết, chúng tôi đưa vào biến phụ  $h_s = a - b_2$  ( $h_s$  đặc trưng cho chiều sâu khe nứt xâm nhập lên tầng trên) và thay  $b_3 = h - b_2 = h - a + h_s$ , ta có phương trình cuối cùng sau đây:

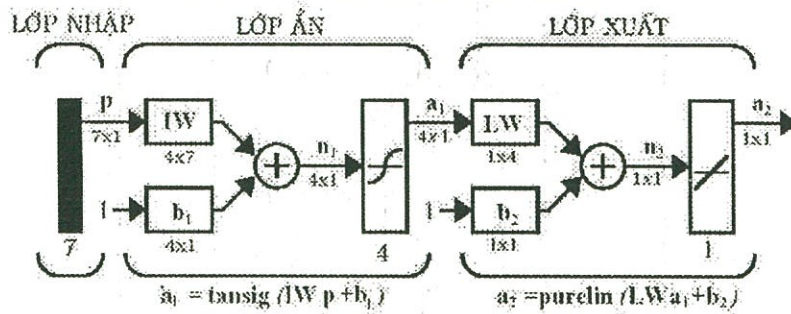
$$f(h_s) = (\sigma_2 - \sigma_1)\sqrt{2ah_s - h_s^2} - (\sigma_3 - \sigma_1)\sqrt{(h+h_s)(2a-h-h_s)} - \frac{\sqrt{\pi}a(K_{lc\text{bot}} - K_{lc\text{top}})}{2} = 0 \quad (7)$$

Phương trình  $f(h_s) = 0$  là một phương trình không tuyến tính đối với biến  $h_s$ . Do vậy sử dụng giải thuật Newton ta dễ dàng tìm được nghiệm  $h_s$  trong miền biến thiên  $[0, 2a-h]$ . Từ đó ta tính được các hệ số hình học  $b_2$ ,  $b_3$  và thay tất cả các giá trị vừa tìm được vào phương trình (4) để tính áp suất xử lý  $P$ . So sánh giá trị tính được này với giá trị áp suất xử lý cho trước  $P^*$  và lặp lại quá trình cho đến khi hai giá trị này bằng nhau.

## 2.2. Phương pháp mạng nơron nhân tạo

Phương pháp mạng nơron nhân tạo ngày càng được ứng dụng rộng rãi để giải quyết nhiều bài toán kỹ thuật hiện đại. Phương pháp này là một công cụ thích hợp để tìm ra mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và thông số đầu ra. Khảo sát bài toán dự đoán chiều cao khe nứt ta thấy có khá nhiều yếu tố như ứng suất các lớp, độ cứng của đất đá, áp suất xử lý, ... ảnh hưởng đến chiều cao khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực. Tuy nhiên, "mức độ" ảnh hưởng các thông số này không như nhau đối với kết quả đầu ra chiều cao khe nứt tạo thành. Nghiên cứu cho thấy chỉ một thay đổi nhỏ trạng thái ứng suất của các tầng cũng làm cho chiều cao khe nứt thay đổi một khoảng khá lớn. Từ đó một mạng nơron nhân tạo cho

phép dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực đã được thiết kế và xây dựng. Kiến trúc của mạng nơron này được thể hiện trên hình 2.



**Hình 2:** Kiến trúc mạng nơron nhân tạo gồm 7 nút nhập, 4 nút ẩn và 1 nút xuất

Đầu tiên, các thông số nhập được tổ chức thành một vectơ  $p$ , nhân với ma trận trọng số  $IW$  tương ứng, kết hợp với trọng ngưỡng  $b_1$  bằng phép cộng rồi chuyển cho hàm truyền của lớp ẩn (ở đây là hàm tang hyperbolic –  $tansig$ ). Tương tự, kết xuất của lớp ẩn  $a_1$  trở thành giá trị vào của lớp xuất (tuy nhiên hàm truyền của lớp xuất là hàm tuyến tính –  $purelin$ ). Kết xuất của lớp xuất  $a_2$  chính là chiều cao khe nứt tạo thành mà mạng nơron dự đoán được. Quá trình này được gọi là ánh xạ (lan truyền tiến).

Như vậy nhiệm vụ còn lại của mạng nơron là nghiên cứu các tập mẫu để hình dung ra mối quan hệ và mức độ ảnh hưởng của các thông số nhập đến thông số xuất, nghĩa là tìm ra các ma trận trọng số  $IW$ ,  $LW$  và các trọng ngưỡng  $b_i$  (gọi tắt là ma trận trọng) thích hợp. Tập mẫu là các giá trị nhập và xuất được lưu trữ, tích lũy trong quá khứ. Cụ thể là các thông số xử lý và chiều cao khe nứt tính được trong các quá trình thực hiện nứt vỉa thủy lực trước đó. Quá trình này được gọi là luyện mạng (lan truyền ngược).

Trong suốt quá trình luyện, ma trận trọng của mạng sẽ được điều chỉnh liên tục để cực tiểu hóa sai số trung bình bình phương. Giải thuật luyện mạng đơn giản và phổ biến nhất hiện nay là phương pháp “giảm dốc nhất”. Trong phương pháp này các trọng số và trọng ngưỡng được cập nhật theo hướng mà sai số trung bình bình phương giảm xuống nhanh nhất.

Một khi mạng đã được luyện xong thì mỗi lần cần dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành ta chỉ cần thực hiện quá trình ánh xạ từ tập các thông số xử lý đến tập kết quả mà không cần phải tiến hành luyện mạng lại.

### 3. ỨNG DỤNG SỐ

Chương trình dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực đã được xây dựng và thực thi trên máy tính trong môi trường tính toán MATLAB. Chương trình cho phép tính toán và so sánh các kết quả dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành theo áp suất xử lý nứt vỉa thủy lực bằng phương pháp lập và phương pháp mạng nơron nhân tạo. Trong phương pháp mạng nơron nhân tạo được luyện với 100 mẫu thì kết quả sau 49 thế hệ mạng đã hội tụ về giá trị mục tiêu với sai số trung bình bình phương  $10^{-4}$ .

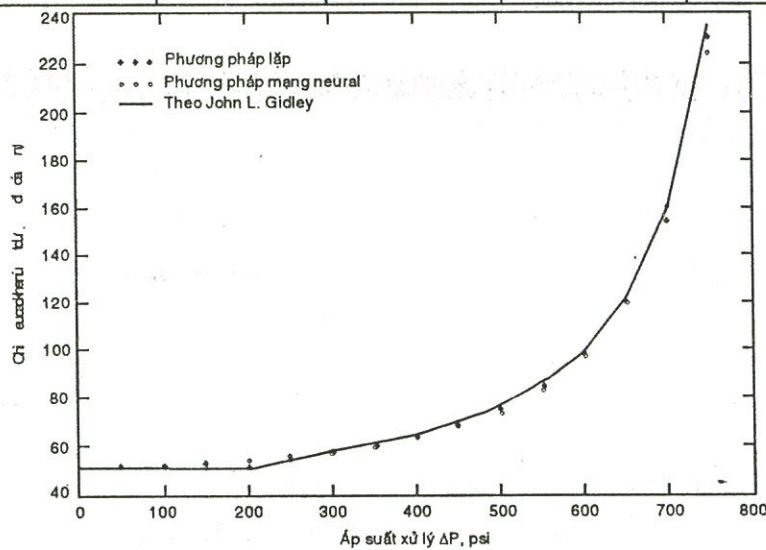
#### 3.1. Bài toán 1

Khảo sát nứt vỉa thủy lực trong thành hệ có tầng cát kết dày 50 ft. Tầng này có ứng suất đóng  $\sigma_1 = 1000$  psi và hai tầng sét trên và dưới có ứng suất lần lượt là  $\sigma_2 = 1800$  psi và  $\sigma_3 = 2000$  psi. Độ cứng tới hạn của cả 3 tầng là:  $K_{Ic1} = K_{Ic2} = K_{Ic3} = 1000 \text{ psi}\sqrt{\text{in}}$ .

Kết quả dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực  $h_f = 2a$  theo áp suất xử lý  $P$  bằng phương pháp lập và phương pháp mạng nơron nhân tạo được so sánh với kết quả của John L. Gidley [1] như trong bảng 1 và hình 3.

**Bảng 1: Kết quả quan hệ áp suất xử lý và chiều cao khe nứt tạo thành dự đoán**

Áp suất xử lý (psi)	Theo [1] $h_f$ (ft)	Phương pháp lập		Phương pháp mạng nơron	
		$h_f$ (ft)	sai số (%)	$h_f$ (ft)	sai số (%)
0	50	50	0	49.74	-0.52
100	50	51	1.96	51.60	3.10
200	50	53	5.66	54.12	7.61
300	57.14	57	-0.25	57.73	1.02
400	64.29	64	-0.45	63.36	-1.47
500	76.00	76	0	73.54	3.34
600	98.86	99	0.14	96.66	-2.27
700	158.57	154	-2.97	159.84	0.79
750	235.72	230	-2.48	223.71	-5.36



**Hình 3: Quan hệ giữa áp suất xử lý và chiều cao khe nứt tạo thành**

**3.2. Bài toán 2**

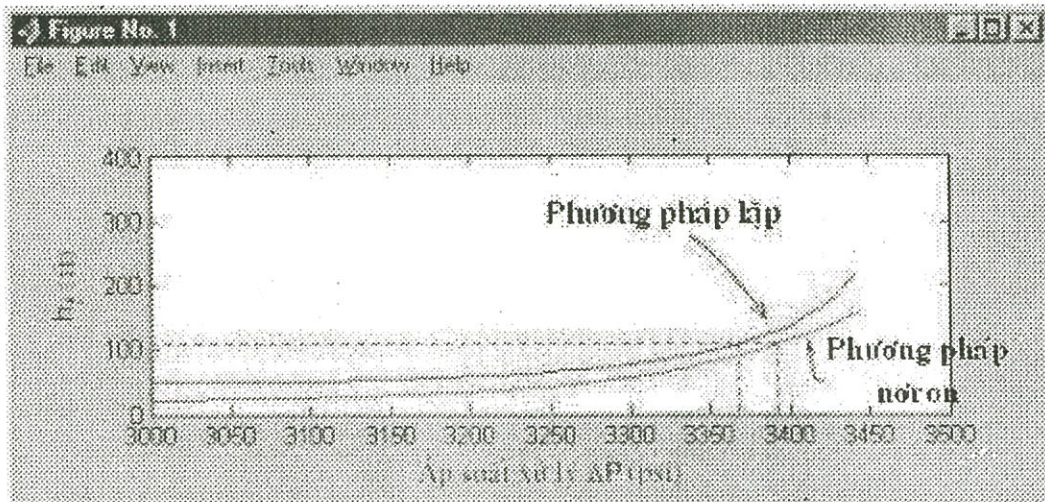
Cũng khảo sát nứt vỉa thủy lực trong thành hệ có tầng cát kết dày 50 ft nêu trên nhưng trong trường hợp đối xứng có ứng suất đóng  $\sigma_1 = 3000$  psi và hai tầng sét trên và dưới đều có cùng giá trị ứng suất là  $\sigma_2 = \sigma_3 = 3500$  psi. Giả sử phía trên tầng xử lý khoảng 30 ft tồn tại một đới chứa nước cần tránh để không làm thông với tầng sản phẩm. Tính áp suất xử lý cần thiết để khe nứt không đi sâu vào tầng sét trên xâm nhập vào đới chứa nước làm thông tầng sản phẩm.

Trong trường hợp đối xứng, khe nứt sẽ phát triển đều về cả hai phía. Do đó, để tránh không làm thông tầng sản phẩm thì chiều cao khe nứt tạo thành không nên vượt quá:  $h_f = 2a = h + 30 \times 2 = 50 + 30 \times 2 = 110$  ft. Khảo sát quan hệ áp suất xử lý P và chiều cao khe nứt tạo thành  $h_f$  bằng cách cho áp suất xử lý tăng dần từ 3000 psi với bước nhảy  $\Delta p = 10$  psi. Kết quả tính toán  $h_f$  trên máy tính bằng phương pháp lập và phương pháp mạng nơron nhân tạo được ghi lại trong bảng 2 sau.

**Bảng 2:** Một số kết quả dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành

P (psi)	$h_f$ (ft)		P (psi)	$h_f$ (ft)	
	Phương pháp lập	Phương pháp nơron		Phương pháp lập	Phương pháp nơron
3300	77	56,615	3360	103	84,884
3310	80	60,254	3370	109	91,322
3320	84	64,277	3380	117	98,324
3330	88	6,718	3390	126	105,90
3340	92	78,610	3400	137	114,06
3350	97	78,989	3410	150	122,78

Đồ thị biểu diễn kết quả dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực như trên hình 4.



**Hình 4:** Kết quả dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành bằng phương pháp lập và mạng nơron

Từ đó, ta thấy phương pháp lập cho kết quả áp suất xử lý cần thiết để không làm thông tầng sản phẩm là  $P_{it} = 3370$  psi ứng với  $h_f = 109$  ft, còn phương pháp mạng nơron nhân tạo cho kết quả  $P_{nr} = 3390$  psi ứng với  $h_f = 105,9$  ft. So sánh với kết quả của John L. Gidley [1] là  $P = 3360$  psi cho thấy các kết quả dự đoán theo hai phương pháp trên có thể chấp nhận được.

#### 4. KẾT LUẬN

Việc dự đoán chiều cao khe nứt tạo thành trong nứt vỉa thủy lực đóng một vai trò quan trọng trong thiết kế và xử lý đã được thực hiện trên máy tính theo phương pháp lập và phương pháp mạng nơron nhân tạo. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Chiều cao khe nứt dự đoán bằng phương pháp lập và phương pháp mạng nơron nhân tạo trong hai bài toán áp dụng cho kết quả tương đối chính xác (đối chiếu tài liệu [1]).
- Trong phương pháp lập, vấn đề giải hệ phương trình không tường minh tìm chiều cao khe nứt tạo thành cho kết quả khá chính xác nhưng lại đòi hỏi phải chấp nhận nhiều giả thuyết và cần biết chính xác nhiều thông số khó xác định trong thực tế.
- Phương pháp mạng nơron nhân tạo không đòi hỏi biết trước chính xác các thông số đó nhưng lại đòi hỏi phải có tập dữ liệu cho xử lý nứt vỉa trước đó hoặc những vùng tuy chưa được xử lý nhưng có tính chất tương tự với vùng cần tiến hành nứt vỉa thủy lực. Vì vậy, phương pháp nơron có một ý nghĩa khá thiết thực trong thực tế và sẽ cho độ chính xác càng cao nếu tập mẫu là đủ lớn và phân bố đều trong phạm vi khảo sát.

## ESTIMATING THE HEIGHT OF INDUCED FRACTURES FOR HYDRAULIC FRACTURING

Khuong Vi Lan, Do Quang Khanh, Le Phuoc Hao

Faculty of Geology and Petroleum, University of Technology – VNU-HCM

### ABSTRACT:

In hydraulic fracturing, the dimensions of induced fractures have a close relation. We cannot create a fracture with hundred meters in length but only some centimeters in height. Thus, the “accurate” prediction of the height of induced fractures will be the basis for calculating the others. This article will present the application of iterative method and artificial neural network method to estimate the height of induced fractures for hydraulic fracturing in a layered-stress reservoir.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] JOHN L. GIDLEY, *Recent Advances in Hydraulic Fracturing*; Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers (1989)
- [2] HOWARD DEMUTH, MARK BEALE, *Neural Network Toolbox for use with MATLAB*; The MathWorks (1998)
- [3] NGUYỄN ĐÌNH THỨC, *Mạng nơron - phương pháp và ứng dụng*. Nhà xuất bản Giáo Dục (2000)