

# Phân tích sự ổn định giếng khoan bằng cách sử dụng các tiêu chí phá hủy khác nhau

Lê Tuấn An<sup>1,2</sup>, Phạm Sơn Tùng<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Bộ môn Khoan và Khai thác Dầu khí, Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

## Liên hệ

**Phạm Sơn Tùng**, Bộ môn Khoan và Khai thác Dầu khí, Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Email: phamsontung@hcmut.edu.vn

## Lịch sử

- Ngày nhận: 22-9-2023
- Ngày chấp nhận: 14-12-2023
- Ngày đăng: 31-3-2024

## DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v6iS17.1213>



## Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



## TÓM TẮT

Khảo sát và đánh giá sự ổn định thành giếng khoan trước khi tiến hành khoan là một công tác quan trọng nhằm giảm thiểu tối đa những rủi ro có thể gặp, tối ưu hóa quá trình khoan để giảm chi phí và đồng thời đảm bảo an toàn cho môi trường và con người. Mục đích của bài báo này là phân tích sự ổn định của thành giếng khoan thông qua các tiêu chí phá hủy khác nhau của Mohr-Coulomb, Tresca và Von Mises. Từ đó xác định tỷ trọng dung dịch khoan hợp lý khi phân tích, so sánh đồng thời nhiều kết quả đưa ra bởi nhiều tiêu chí phá hủy khác nhau với cùng một bộ số liệu đầu vào. Việc kết hợp đồng thời nhiều tiêu chí phá hủy nhằm mục đích vận dụng được đồng thời ưu điểm và khắc phục các nhược điểm của mỗi tiêu chí. Tiêu chí phá hủy Mohr-Coulomb là một phương pháp đánh giá dựa trên mô hình ma sát động và sức kéo trong vật liệu, trong khi với tiêu chí phá hủy Tresca thì khi hiệu ứng suất kéo giữa ứng suất cao nhất và ứng suất thấp nhất trên mặt phẳng cắt vượt quá giới hạn ứng suất cắt của vật liệu, thì vật liệu sẽ bị cắt nứt hoặc bị biến dạng vĩnh viễn, còn theo tiêu chí Von Mises thì nếu ứng suất Von Mises vượt quá giới hạn ứng suất của vật liệu thì sẽ làm vật liệu có thể bị biến dạng vĩnh viễn hoặc phá hủy. Kết quả của nghiên cứu cho thấy nếu ta chỉ sử dụng biên dưới của số dung dịch khoan là áp suất lỗ rỗng thì sẽ có những đoạn gây ra sự cố sập lở do chưa xem xét đến áp suất gây sập lở. Tương tự nếu ta sử dụng biên trên của cửa số dung dịch khoan là áp suất bắt đầu tạo khe nứt (Fracture Pressure Gradient) thì cũng sẽ có những đoạn gây sự cố sập lở. Do đó, việc xây dựng cửa số dung dịch khoan theo ba tiêu chí phá hủy Mohr-Coulomb, Tresca và Von Mises, kết hợp với việc khảo sát và xem xét tới yếu tố thành tạo của giếng, độ sâu và độ nghiêng của thân giếng trong việc phân tích sự ổn định của thành giếng khoan nhằm giúp người kỹ sư có thể đưa ra quyết định sử dụng tiêu chí phá hủy nào sẽ thích hợp cho từng đoạn thân giếng khác nhau.

**Từ khoá:** Ổn định thành giếng khoan, Tiêu chí phá hủy, Mohr-Coulomb, Tresca, Von Mises

## MỞ ĐẦU

Nhu cầu phân tích ổn định giếng ngày càng gia tăng trong công nghiệp dầu khí, đặc biệt là khi khoan các giếng có góc nghiêng lớn trong các bồn trầm tích sâu và siêu sâu<sup>1</sup>. Phân tích ổn định giếng là rất quan trọng trong quá trình khoan các giếng dầu khí. Các vấn đề mất ổn định trong giai đoạn khoan thường là kết quả kết hợp của các ảnh hưởng cơ học và hóa học, phụ thuộc vào nhiều thông số như là các ứng suất tại chỗ, áp suất lỗ rỗng, tính chất đất đá, dung dịch khoan, quỹ đạo giếng<sup>2</sup>. Nghiên cứu này tập trung vào một thông số quan trọng mà ta có thể kiểm soát được trong quá trình khoan, đó là tỷ trọng dung dịch khoan. Nếu tỷ trọng dung dịch khoan lớn hơn cần thiết, dung dịch khoan sẽ xâm nhập vào thành giếng, đồng thời gây ra phá hủy thành giếng. Mặt khác, tỷ trọng dung dịch khoan thấp hơn cần thiết có thể dẫn đến sự phá hủy cắt của đá, hoặc gây ra hiện tượng kick gây mất an toàn khi khoan<sup>3</sup>. Nhằm mục đích hạn chế khả năng xảy ra sự cố trong quá trình khoan, nghiên cứu này

để xuất nên sử dụng đồng thời nhiều tiêu chí phá hủy khác nhau để từ đó lựa chọn được tỷ trọng dung dịch khoan phù hợp.

Trong những năm qua đã có nhiều nghiên cứu về các mô hình phân tích cho sự ổn định cơ học của giếng. Các nghiên cứu thường có điểm chung là coi mô hình cấu trúc thành giếng khoan như một vật liệu đàn hồi xoắn tuyến tính với các đặc tính cường độ và biến dạng đá đẳng hướng trong trường ứng suất chính 3D. Áp suất dung dịch khoan tối thiểu được xác định để ngăn ứng suất chênh lệch xung quanh giếng khoan nhỏ hơn độ bền cắt của đá<sup>2</sup>. Có nghiên cứu đã kết luận rằng Mohr-Coulomb là tiêu chí phá hủy tốt hơn so với các tiêu chí khác vì nó xem xét ảnh hưởng của thành phần ứng suất chính trung gian trong phân tích phá hủy<sup>4</sup>. Mặc dù vậy, các tiêu chí phá hủy khác như của Mohr-Coulomb (1973), của Hoek-Brown (1980) và của Mogi-Coulomb (1971) vẫn được đề cập tới trong nhiều nghiên cứu<sup>5</sup>, cũng như vẫn đã và đang được sử dụng để ước tính tỷ trọng dung dịch khoan cho giếng khoan<sup>6</sup>. Mặc dù có nghiên cứu cho thấy các kết

**Trích dẫn bài báo này:** An L T, Tùng P S. **Phân tích sự ổn định giếng khoan bằng cách sử dụng các tiêu chí phá hủy khác nhau.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2024; 6(S17):1-13.

quả thu được từ tiêu chí Mogi-Coulomb mang lại sự so sánh tốt hơn so với tiêu chí Hoek-Brown hay tiêu chí Mohr-Coulomb, tuy nhiên nếu xét kỹ tùy từng độ sâu khác nhau thì khả năng các tiêu chí phá hủy khác nhau sẽ cho ra các kết quả phân tích khác nhau, và các kết quả này có thể bổ sung cho nhau. Chẳng hạn như nếu chỉ sử dụng biên dưới của cửa sổ dung dịch khoan là áp suất lỗ rỗng thì sẽ có những đoạn gây ra sự cố sập lở do chưa xem xét đến áp suất gây sập lở. Tương tự nếu chỉ sử dụng biên trên của cửa sổ dung dịch khoan là áp suất bắt đầu tạo khe nứt (FPG) thì cũng có thể sẽ có những đoạn gây sự cố sập lở. Mục tiêu tổng quan của nghiên cứu này là tìm hiểu sự tương đồng và khác biệt các tiêu chí phá hủy Mohr-Coulomb, Tresca, Von Mises để dự đoán tỷ trọng dung dịch khoan cần thiết với các dữ liệu ứng suất và thạch học đá khác nhau. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu đầu vào của giếng khoan X-8P tại mỏ X, bồn trũng Nam Côn Sơn. Việc kết hợp đồng thời nhiều tiêu chí phá hủy khác nhau sẽ giúp ước tính được tỷ trọng dung dịch khoan tối ưu hơn theo từng khoản độ sâu nhất định.

## PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### Ứng suất đứng ( $\sigma_v$ )

Ứng suất thẳng đứng được tạo ra do trọng lượng lớp phủ bên trên và có thể được tính thông qua mối liên hệ với tỷ trọng của đất đá theo chiều sâu.  $\sigma_v$  được tính bằng công thức:

$$\sigma_v = \int_0^h \rho(h) * g * dh \quad (1)$$

Trong đó:

$h$  là chiều sâu cột đất đá (m)

$\rho(h)$  là tỷ trọng của lớp đất đá tại độ sâu ( $g/cm^3$ )

$g$  là gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ )

Ứng suất thẳng đứng có ý nghĩa rất quan trọng vì nó thường đóng vai trò là ứng suất cực đại trong những độ sâu nghiên cứu lớn khoảng từ 2000m.

### Ứng suất ngang nhỏ nhất ( $\sigma_{hmin}$ )

Ứng suất ngang nhỏ nhất là ứng suất tác động lên các khối đất đá theo phương ngang có độ lớn nhỏ hơn ứng suất ngang còn lại.

Phương, chiều và cường độ của ứng suất ngang nhỏ nhất thường được xác định thông qua các thí nghiệm thủy lực như *leak off test*, *extended leak off test*, *mini-frac test*.

### Ứng suất lớn nhất theo phương ngang ( $\sigma_{Hmax}$ )

Tương tự như ứng suất ngang nhỏ nhất, việc xác định hướng và độ lớn của ứng suất ngang lớn nhất là rất quan trọng vì ta có thể dự đoán được hướng tạo khe

nước cũng như sập lở giếng khi khoan, đồng thời ứng suất ngang lớn nhất cũng có ảnh hưởng đến việc chọn tỷ trọng dung dịch khoan. Zoback (2007) đã đề xuất phương pháp xác định như sau<sup>5</sup>:

$$\sigma_{Hmax} = \frac{UCS + 2P_p - \sigma_{hmin} (1 + 2 \cos(2\theta_b))}{1 - 2 \cos(c)} \quad (2)$$

$$2\theta = \pi - \psi \quad (3)$$

Trong đó:  $\psi$  là độ lớn góc bị phá hủy (rad)

UCS là độ bền nén đơn trục (psi)

Ta cũng có thể dùng các phương pháp như *Leak off tests* (LOT), *Extended leak off tests* (XLOT), và các phương pháp *mini fracture tests* để dự đoán ứng suất ngang lớn nhất.

### Áp suất lỗ rỗng ( $P_p$ ) và áp suất hiệu dụng

Trong vỉa luôn tồn tại lỗ rỗng và chất lưu trong lỗ rỗng, chất lưu có một áp suất gọi là áp suất lỗ rỗng. Áp suất này sẽ làm cho chất lưu chảy từ nơi có áp suất cao tới nơi có áp suất thấp hơn.

Để tiện trong tính toán mô hình địa cơ học ta định nghĩa ứng suất hiệu dụng là hiệu số giữa các ứng suất chính và ứng suất lỗ rỗng:

$$\sigma' = \sigma - P_p \quad (4)$$

### Ứng suất vòng quanh lỗ khoan

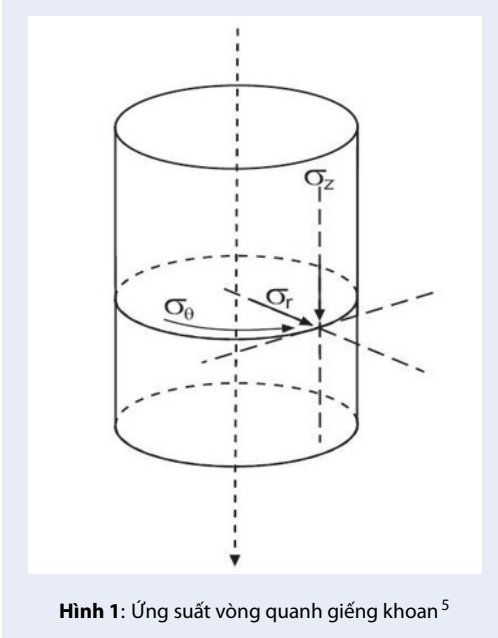
Khi khoan giếng, ứng suất tại thành lỗ khoan bị thay đổi và đất đá trên thành lỗ khoan phải chịu những ứng suất tác động do sự mất đi các vật liệu trong quá trình khoan. Đây cũng chính là nguyên nhân thay đổi các vùng ứng suất bao quanh thân giếng. Sơ đồ minh họa các ứng suất vòng quanh thân giếng đứng được thể hiện trên Hình 1.

### Ứng suất vòng cho giếng khoan đứng

Ứng suất vòng quanh thành giếng khoan đứng lớn nhất và nhỏ nhất tương ứng được tính theo các công thức dưới đây<sup>7</sup>:

$$\sigma_{\theta,max} = 3\sigma_{Hmax} - \sigma_{hmin} - P_w; \theta = 90^\circ \quad (5)$$

$$\sigma_{\theta,min} = 3\sigma_{hmin} - \sigma_{Hmax} - P_w; \theta = 0^\circ \quad (6)$$



Hình 1: Ứng suất vòng quanh giếng khoan<sup>5</sup>

$$\tau_{xz} = 0.5(\sigma_{Hmax}(\cos(\alpha))^2 + \sigma_{hmin} * (\sin(\alpha))^2 - \sigma_v) \sin(2i) \quad (11)$$

$$\tau_{yz} = 0.5(\sigma_{Hmax} - \sigma_{hmin}) \sin(2\alpha) * \sin(i) \quad (12)$$

Các thành phần ứng suất vòng quanh lỗ khoan tại thành giếng khoan được tính theo các công thức dưới đây<sup>9</sup>:

$$\sigma_\theta = (\sigma_x + \sigma_y) - 2(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta - 4\tau_{xy} \sin 2\theta - P_w \quad (13)$$

$$\sigma_r = p_w \quad (14)$$

$$\sigma_{zz} = \sigma_z - \nu[(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta + 4\tau_{xy} \sin 2\theta] \quad (15)$$

$$\tau_{r\theta} = \tau_{rx} = 0 \quad (16)$$

$$\tau_{\theta z} = 2(-\tau_{xz} \sin \theta + \tau_{yz} \cos \theta) \quad (17)$$

$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_{zz}$ : Lần lượt là ứng suất hướng tâm (psi), ứng suất vòng quanh giếng (psi), ứng suất dọc theo trục z trong hệ tọa độ (psi).

$\nu$ : Hệ số Poisson của đất đá

## CÁC TIÊU CHUẨN PHÁ HỦY

### Tiêu chuẩn phá hủy Mohr-Coulomb

#### Cơ sở lý thuyết

Một trong những tiêu chuẩn đơn giản và được sử dụng phổ biến để thể hiện mối tương quan giữa ứng suất pháp tuyến và ứng suất tiếp trong xây dựng đường bao phá hủy là sử dụng tiêu chuẩn vòng tròn Mohr (Mohr-Coulomb criterion). Tiêu chuẩn Mohr-Coulomb đưa ra ứng suất cắt và ứng suất hiệu dụng được xác định thông qua công thức sau<sup>10</sup>:

$$\tau = c + \sigma_n \tan(\phi) \quad (18)$$

Với:  $\phi$  là góc ma sát trong của đá (rad)

$\tau$  là ứng suất pháp tuyến trên mặt phẳng phá hủy (kPa, mPa)

$c$  là lực kết dính trong đất đá (kPa, mPa)

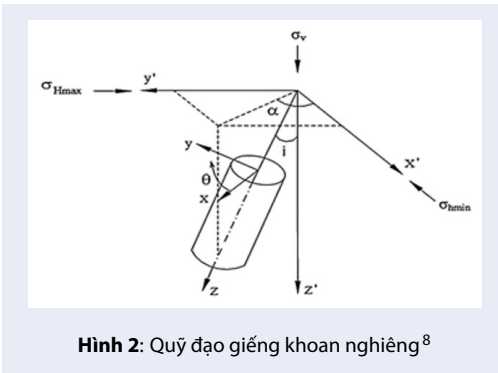
Theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb (Hình 3), đất đá bị phá hủy cắt khi các thành phần ứng chính tác dụng lên nó thỏa mãn điều kiện:

$$\sigma'_1 \geq UCS + \sigma'_3 * (\tan(\beta))^2 \quad (19)$$

Với:  $\phi$  là góc ma sát trong của đá (rad) và  $\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$  (rad)

$\sigma_1$  là ứng suất chính lớn nhất (psi)

$\sigma_3$  là ứng suất chính nhỏ nhất (psi)



Hình 2: Quỹ đạo giếng khoan nghiêng<sup>8</sup>

### Ứng suất vòng cho giếng khoan ngang và nghiêng

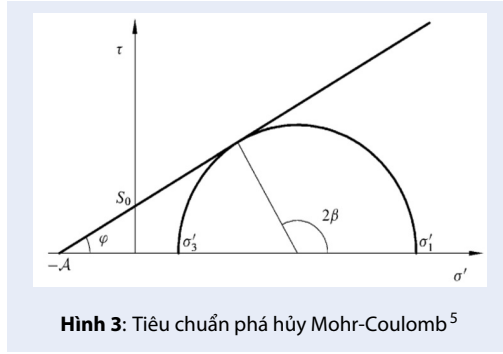
Xét một giếng nghiêng có góc nghiêng là  $i$  (rad) và hợp với hướng của ứng suất lớn nhất theo phương ngang một góc là  $\alpha$  (rad), bằng các công thức chuyển đổi (Hình 2), ta có thể xác định được các thành phần ứng suất trên thành giếng khoan khi đó là<sup>9</sup>:

$$\sigma_x = (\sigma_{Hmax} * (\cos(\alpha))^2 + \sigma_{hmin} * (\sin(\alpha))^2) * (\cos(i))^2 + (\sin(i))^2 \quad (7)$$

$$\sigma_y = (\sigma_{Hmax} * (\sin(\alpha))^2 + \sigma_{hmin} * (\cos(\alpha))^2) * (\cos(i))^2 + (\sin(i))^2 \quad (8)$$

$$\sigma_z = (\sigma_{Hmax} * (\cos(\alpha))^2 + \sigma_{hmin} * (\sin(\alpha))^2) * (\sin(i))^2 + \sigma_v * (\cos(i))^2 \quad (9)$$

$$\tau_{xy} = 0.5(\sigma_{Hmax} - \sigma_{hmin}) \sin(2\alpha) * \cos(i) \quad (10)$$



Hình 3: Tiêu chuẩn phá hủy Mohr-Coulomb<sup>5</sup>

### Tiêu chuẩn Mohr-Coulomb trong giếng đứng

Trong giếng thẳng đứng với thành phần ứng suất ngang là bằng nhau theo mọi hướng ( $\sigma_{hmin} = \text{const}$ ), ba thành phần ứng suất chính lần lượt là<sup>10</sup>:

$$\sigma_R = P_w \quad (20)$$

$$\sigma_\theta = 2\sigma_{hmin} - P_w \quad (21)$$

$$\sigma_z = \sigma_v \quad (22)$$

Tỷ trọng dung dịch khoan có thể gây nên hiện tượng sập lở thành giếng khoan đứng theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb được thể hiện trong Bảng 1 như sau<sup>7</sup>.

Với  $P_f = P_p$  là áp suất lỗ rỗng (psi)

### Tiêu chuẩn Mohr-Coulomb cho giếng nghiêng

Các thành phần ứng suất chính đối với giếng nghiêng được định trong phần (2.2.2), tỷ trọng dung dịch khoan có thể gây nên hiện tượng sập lở thành giếng khoan nghiêng theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb được thể hiện trong Bảng 2.

### Tiêu chuẩn Von Mises

#### Cơ sở lý thuyết

Nếu ứng suất Von Mises (Von Mises, 1913) vượt quá giới hạn ứng suất chịu đựng, vật liệu có thể bị biến dạng vĩnh viễn hoặc phá hủy, tiêu chí được biểu diễn thông qua công thức sau:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{6} (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \quad (30)$$

Vậy giếng sẽ bị sập lở khi<sup>2</sup>:

$$\sigma_{vm} \geq \frac{UCS}{3} \quad (31)$$

$$\sqrt{\frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \geq \frac{UCS}{3} \quad (32)$$

### Tiêu chuẩn Von Mises trong giếng đứng

Các thành phần ứng suất chính trong Von Mises đối với giếng đứng cũng giống như Mohr-Coulomb<sup>2</sup>. Xét trường hợp thứ nhất  $\sigma_\theta > \sigma_{zz} > \sigma_r$  khi đó, ứng suất chính lớn nhất là  $\sigma_\theta$  và ứng suất chính nhỏ nhất là  $\sigma_r$ , ta có:

$$\sqrt{\frac{1}{6} [(\sigma'_\theta - \sigma'_{zz})^2 + (\sigma'_\theta - \sigma'_r)^2 + (\sigma'_{zz} - \sigma'_r)^2]} \geq \frac{UCS}{3} \quad (33)$$

Thế công thức (20), (21) và (22) vào công thức (33), ta có:

$$\sqrt{\frac{1}{6} [(2\sigma_{hmin} - P_w - P_p - (\sigma_v - P_p))^2 + (2\sigma_{hmin} - P_w - P_p - (P_w - P_p))^2 + (\sigma_v - P_p - (P_w - P_p))^2]} \geq \frac{UCS}{3} \quad (34)$$

Rút gọn công thức (34), ta được:

$$18P_w^2 - 36\sigma_{hmin}P_w + 24\sigma_{hmin}^2 + 6\sigma_v^2 - 12hmin\sigma_v - 2UCS^2 \geq 0 \quad (35)$$

Đặt:

$$A = \sigma_{hmin} \quad (36)$$

$$B = 24\sigma_{hmin}^2 + 6\sigma_v^2 - 12\sigma_{hmin}\sigma_v - 2UCS^2 \quad (37)$$

Thế công (36) và (37) vào phương trình (35), ta được:

$$18P_w^2 - 36AP_w + B \geq 0 \quad (38)$$

$$\rightarrow P_w = \left[ \frac{36A - \sqrt{(-35A)^2 - 4 \times 18 \times B}}{36}; \frac{36A - \sqrt{(-35A)^2 - 4 \times 18 \times B}}{36} \right] \quad (39)$$

Tương tự ta lần lượt thay đổi giả thuyết về mối tương quan độ lớn của các ứng suất chính sẽ được 6 trường hợp. Nhưng vì phương trình tiêu chí phá hủy Von Mises là phương trình bậc 2 nên khi thế các ứng suất chính của từng trường hợp vào phương trình (33) đều cho kết quả như nhau.

Từ đó ta có tỷ trọng dung dịch khoan gây nên phá hủy cắt theo tiêu chuẩn Von Mises trong giếng khoan đứng được thể hiện theo các công thức trong Bảng 5.

Các thành phần ứng suất chính trong tiêu chí Von Mises đối với giếng nghiêng cũng giống như Mohr-Coulomb, cụ thể là công thức (13), (14) và (15)<sup>2</sup>. Nếu bỏ qua ảnh hưởng của ứng suất tiếp đến sự phá hủy đất đá, tương tự với giếng đứng, ta có:

$$\sqrt{\frac{1}{6} [(\sigma'_\theta - \sigma'_z)^2 + (\sigma'_\theta - \sigma'_r)^2 + (\sigma'_z - \sigma'_r)^2]} \geq \frac{UCS}{3} \quad (40)$$

**Bảng 1: Tỷ trọng dung dịch khoan gây sập lở trong giếng đứng theo tiêu chí phá hủy Mohr-Coulomb<sup>7</sup>**

Trường hợp a	$\sigma_\theta > \sigma_z > \sigma_r$	$P_w \leq \frac{2(\sigma_{hmin} - P_f) - C_0}{1 + (\tan(\beta))^2}$
Trường hợp b	$\sigma_z > \sigma_\theta > \sigma_r$	$P_w \leq P_f + \frac{\sigma_r - P_f - C_0}{(\tan(\beta))^2}$
Trường hợp c	$\sigma_z > \sigma_r > \sigma_\theta$	$P_w \geq P_f + 2(\sigma_{hmin} - P_f) - \frac{\sigma_r - P_f - C_0}{(\tan(\beta))^2}$
Trường hợp d	$\sigma_r > \sigma_z > \sigma_\theta$	$P_w \geq P_f + \frac{2(\sigma_{hmin} - P_f) \tan \beta + C_0}{1 + (\tan(\beta))^2}$
Trường hợp e	$\sigma_r > \sigma_\theta > \sigma_z$	$P_w \geq P_f + (\sigma_{hmin} - P_f) \tan(\beta) + C_0$
Trường hợp f	$\sigma_\theta > \sigma_r > \sigma_z$	$P_w \leq P_f + 2(\sigma_{hmin} - P_f) - (\sigma_r - P_f) (\tan(\beta))^2 - C_0$

**Bảng 2: Tỷ trọng dung dịch khoan gây sập lở trong giếng nghiêng theo tiêu chí phá hủy Mohr-Coulomb<sup>7</sup>**

Trường hợp a	$\sigma_\theta > \sigma_z > \sigma_r$	$P_w \leq \frac{\sigma_x + \sigma_y - 2(\sigma_x - \sigma_y) \cos \cos(2\theta) - 4\tau_{xy} \sin(2\theta) - UCS}{2}$
Trường hợp b	$\sigma_z > \sigma_\theta > \sigma_r$	$P_w \leq \sigma_z - \vartheta [2(\sigma_x - \sigma_y) \cos \cos(2\theta) + 4\tau_{xy} \sin \sin(2\theta)] - UCS$
Trường hợp c	$\sigma_z > \sigma_r > \sigma_\theta$	$P_w \geq UCS + \sigma_x + \sigma_y - 2(\sigma_x - \sigma_y) \cos \cos(2\theta) - 4\tau_{xy} \sin \sin(2\theta) - \sigma_z + \vartheta [2(\sigma_x - \sigma_y) \cos \cos(2\theta) + 4\tau_{xy} \sin \sin(2\theta)]$

**Bảng 3: Các công thức tính tỷ trọng dung dịch khoan gây sập lở cho giếng đứng theo tiêu chí Von Mises**

Giá trị lớn nhất	$P_w \leq \frac{36\sigma_{hmin} - \sqrt{(36\sigma_{hmin})^2 - 4 \times 18 \times (24\sigma_{hmin}^2 + 6\sigma_v^2 - 12\sigma_{hmin}\sigma_v - 2UCS^2)}}{36}$
Giá trị nhỏ nhất	$P_w \geq \frac{36\sigma_{hmin} + \sqrt{(36\sigma_{hmin})^2 - 4 \times 18 \times (24\sigma_{hmin}^2 + 6\sigma_v^2 - 12\sigma_{hmin}\sigma_v - 2UCS^2)}}{36}$

Đặt:

$$A = \sigma_x + \sigma_y - 2(\sigma_x - \sigma_y) \cos(\theta) - 4\tau_{xy} * \sin(2\theta) \quad (41)$$

$$B = \sigma_z = \sigma_z - \vartheta [2(\sigma_x - \sigma_y) \cos(2\theta) + 4\tau_{xy} * \sin(2\theta)] \quad (42)$$

$$\rightarrow \sigma_\theta = A - P_w \quad (43)$$

$$\sigma_r = P_w \quad (44)$$

$$\sigma_z = B \quad (45)$$

Thế công thức (43), (44) và (45) vào công thức số (40), ta được phương trình:

$$18P_w^2 - 18AP_w + 6A^2 + 6B^2 - 6AB - 2UCS^2 \geq 0 \quad (41)$$

Đặt:

$$C = 6A^2 + 6B^2 - 6AB - 2UCS^2 \quad (42)$$

Thế công thức (42) vào phương trình (41), ta được:

$$18P_w^2 - 18AP_w + C \geq 0 \quad (43)$$

Tương tự ta lần lượt thay đổi giả thuyết về mối tương quan độ lớn của các ứng suất chính sẽ được 6 trường

hợp. Nhưng trong thực tế  $\sigma_z$  luôn lớn hơn  $\sigma_r$  vì vậy ta chỉ xét tới ba trường hợp là  $\sigma_\theta > \sigma_z > \sigma_r$ ;  $\sigma_z > \sigma_\theta > \sigma_r$ ;  $\sigma_z > \sigma_r > \sigma_\theta$ . Nhưng vì phương trình tiêu chí phá hủy Von Mises là phương trình bậc 2 nên khi ta thế các ứng suất chính của từng trường hợp vào phương trình (40) đều cho kết quả như nhau. Từ đó, ta có:

Từ đó ta có tỷ trọng dung dịch khoan gây nên phá hủy cắt theo tiêu chuẩn Von Mises trong giếng khoan nghiêng được thể hiện trong **bảng 6**.

Biết rằng:

$$A = \sigma_x + \sigma_y - 2(\sigma_x - \sigma_y) \cos(\theta) - 4\tau_{xy} * \sin(2\theta) \quad (41)$$

$$B = \sigma_z = \sigma_z - \vartheta [2(\sigma_x - \sigma_y) \cos(2\theta) + 4\tau_{xy} * \sin(2\theta)] \quad (42)$$

## SỐ LIỆU ĐẦU VÀO

Xét giếng khoan mở X thuộc bồn trũng Nam Côn Sơn, cách Vũng Tàu khoảng 280 km về phía Đông Nam. Dữ liệu đầu vào gồm các thông số được thể hiện trong **bảng 7**.

Từ các thông số đầu vào, nghiên cứu sẽ áp dụng các tiêu chuẩn phá hủy khác nhau để có thể tính ra được tỷ trọng dung dịch có thể gây ra sập lở thành giếng khoan ( $C_p$ ).

**Bảng 4: Tỷ trọng dung dịch khoan gây sập lở cho giếng nghiêng theo tiêu chí Von Mises**

Giá trị lớn nhất	$P_w \leq \frac{18A - \sqrt{(18A)^2 - 4 \times 18 \times (6A^2 + 6B^2 - 6AB - 2UCS^2)}}{36}$
Giá trị nhỏ nhất	$P_w \geq \frac{18A + \sqrt{(18A)^2 - 4 \times 18 \times (6A^2 + 6B^2 - 6AB - 2UCS^2)}}{36}$

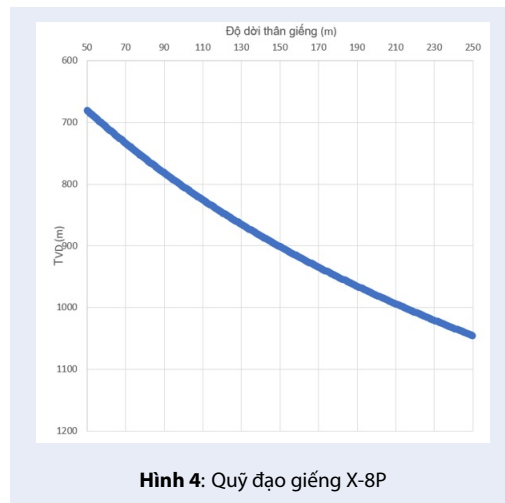
**Bảng 5: Thông số đầu vào của nghiên cứu.**

STT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
1	Độ sâu thực tế	MD	m
2	Độ sâu thẳng đứng	TVD	m
3	Ứng suất đứng	v	psi
4	Ứng suất ngang nhỏ nhất	hmin	
5	Ứng suất ngang lớn nhất	Hmax	
6	Độ bền nén đơn trục	UCS	
7	Áp suất lỗ rỗng	Pp	
8	Hệ số góc ma sát trong	$\mu$	Không thứ nguyên
9	Hệ số Poisson	v	
10	Hệ số iot	$\alpha$	
11	Góc phương vị của Hmax	$\alpha$	rad
12	Góc phương vị của giếng	i	rad

## KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

### Ứng suất vòng quanh giếng

Quy đạo giếng X-8P (668m đến 1000m) được vẽ dưới đồ thị 2D như sau:



**Hình 4: Quy đạo giếng X-8P**

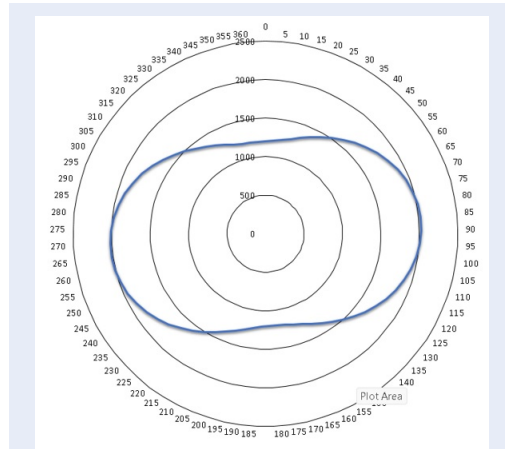
Từ Hình 4 ta thấy được độ nghiêng của thân giếng X-8P thể hiện góc nghiêng hoặc độ lệch so với phương thẳng đứng. Càng xuống sâu thân giếng X-8P càng

tạo ra góc nghiêng khá lớn, dẫn đến độ dời thân giếng cũng khá rộng so với phương thẳng đứng. Điều này có thể đại diện cho sự chênh lệch hoặc sai lệch trong địa hình hoặc hướng di chuyển của giếng so với phương thẳng đứng. Nó có thể được sử dụng để đánh giá và điều chỉnh hướng khoan, xác định độ sâu và vị trí của giếng, hoặc phát hiện sự lệch trong địa chất hoặc cấu trúc của lớp đất.

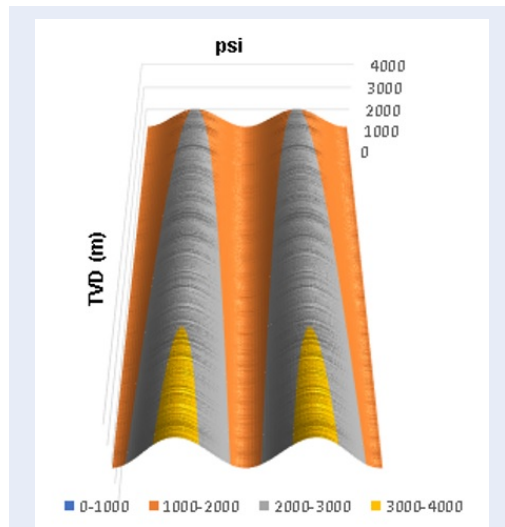
Từ góc nghiêng, góc phương vị và tỷ trọng dung dịch khoan nhỏ nhất được đề xuất của giếng ta tính các thành phần ứng suất vòng quanh lỗ khoan theo các công thức (7), (8), (10) và (13).

Đường màu xanh trong Hình 5 là đường thể hiện độ lớn của ứng suất vòng quanh lỗ khoan tại một độ sâu nhất định. Ta thấy được giá trị các ứng suất vòng quanh giếng tại một độ sâu nhất định sẽ đối xứng với nhau. Nhưng trên thực tế chúng chỉ xấp xỉ bằng nhau và sự chênh lệch đó là rất nhỏ.

Khi khoan giếng, ứng suất tại thành lỗ khoan bị thay đổi và đất đá trên thành lỗ khoan phải chịu những ứng suất tác động do sự mất đi các vật liệu trong quá trình khoan. Đây cũng chính là nguyên nhân thay đổi các vùng ứng suất bao quanh thân giếng. Hình 6 cho thấy được sự thay đổi của ứng suất vòng theo từng độ sâu nhất định của giếng X-8P từ độ sâu 668m đến 1000m. Kết quả cho thấy giá trị của ứng suất vòng sẽ tăng dần



**Hình 5:** Ví dụ minh họa đồ thị dạng radar ứng suất (psi) vòng quanh lỗ khoan ở một độ sâu nhất định



**Hình 6:** Kết quả 3D ứng suất vòng quanh lỗ khoan theo độ sâu TVD của giếng X-8P, với TVD thay đổi từ trên xuống dưới là 663.308 m tới 961.651 m.

theo độ sâu. Càng xuống sâu thì giá trị của ứng suất vòng sẽ thay đổi phức tạp hơn, xuất hiện nhiều giá trị hơn. Từ độ sâu 668m đến 885m giá trị các ứng suất vòng sẽ giao động từ 1000 psi đến 3000 psi. Nhưng từ độ sâu 885m đến 1000m sẽ xuất hiện thêm các giá trị từ 3000 psi đến 4000 psi.

**Các ứng suất có trong giếng**

Các phần tử trong đất đá luôn chịu lực tác động từ những phần tử xung quanh nó theo mọi phương. Ở trạng thái tự nhiên ban đầu, những lực này cân bằng với nhau giúp cho các phần tử đó ở trạng thái ổn định nhất. Khi một giếng khoan dầu khí được thực hiện,

một phần vật chất trong thành hệ bị lấy đi làm cho trạng thái cân bằng bị phá hủy gây nên nguy cơ bị sập lở thành hệ nếu không có biện pháp để cân bằng lại ứng suất, từ đó làm tăng chi phí khoan và cũng có thể gây nên nguy hiểm cho con người và môi trường<sup>5</sup>. Hình 7 thể hiện sự thay đổi các ứng suất xung quanh của giếng X-8P sâu khi tiến hành khoan. Ta thấy được các ứng suất ngang lớn nhất, ứng suất ngang nhỏ nhất, ứng suất thẳng đứng và áp suất lỗ rỗng thì càng xuống sâu các giá trị này sẽ càng tăng. Nhưng riêng độ bền nén đơn trục của đất đá thì thay đổi phức tạp hơn khi mà tại mỗi vị trí sẽ có các giá trị độ bền nén đơn trục khác nhau mà không theo một quy luật nào.

**Áp suất gây sập lở (Collapse pressure)**

Sau khi tính toán được áp suất gây sập lở xung quanh thành giếng theo các tiêu chuẩn ở từng độ sâu tương ứng, ta vẽ được đồ thị thể hiện mối tương quan về độ lớn giữa CP, áp suất lỗ rỗng và ứng suất ngang nhỏ nhất để xác định cửa sổ dung dịch khoan như sau:

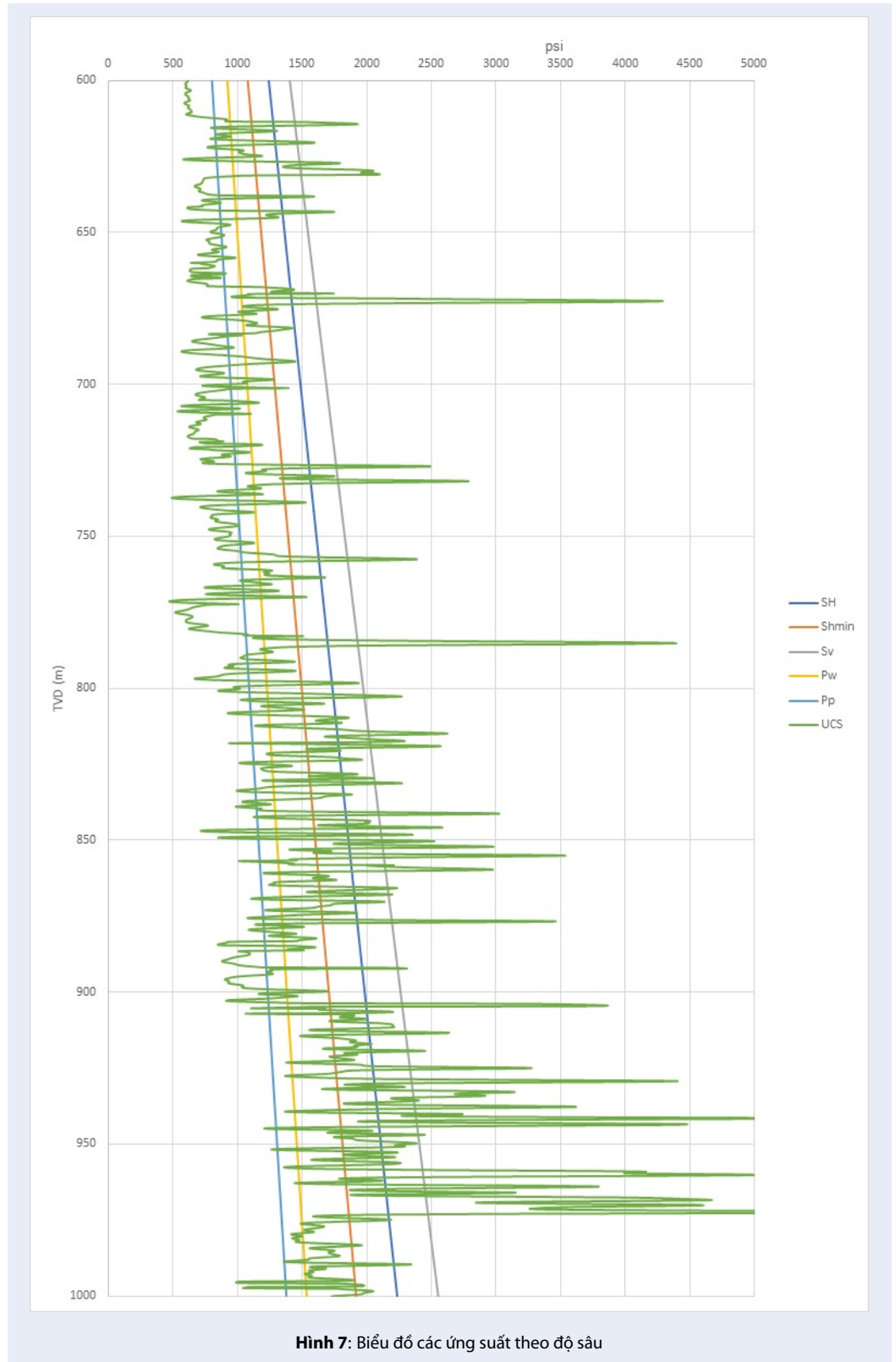
Kết quả thể hiện trong Hình 8 cho thấy nếu ta sử dụng biên dưới của cửa sổ dung dịch khoan là áp suất lỗ rỗng thì sẽ có những đoạn gây ra sự cố sập lở do chưa xem xét đến áp suất gây sập lở, ta nên phân tích sự ổn định thành giếng và lựa chọn tỷ trọng dung dịch khoan cho biên dưới của cửa sổ dung dịch khoan theo tiêu chí phá hủy Tresca sẽ tối ưu nhất. Tương tự, tại độ sâu từ 762m – 765m, nếu ta sử dụng biên trên của cửa sổ dung dịch khoan là áp suất bắt đầu tạo khe nứt (Fracture Pressure Gradient) thì cũng sẽ có gây sự cố sập lở.

Qua đó ta xác định được vùng cửa sổ dung dịch khoan tối ưu cho giếng X-8P dựa trên kết quả trong Hình 8. Trong quá trình khoan, cửa sổ dung dịch khoan là một khía cạnh quan trọng trong việc quản lý áp suất và kiểm soát giếng. Nếu áp suất dung dịch khoan quá cao so với áp suất đáy giếng, có thể xảy ra sự vỡ thành giếng, xuất hiện sự sụt lún. Ngược lại, nếu áp suất dung dịch khoan quá thấp, có thể dẫn đến sự xâm nhập của bùn, gây mất kiểm soát giếng<sup>3</sup>.

Kết quả cho thấy tại độ sâu từ 762m – 765m thì biên trên ta có thể sử dụng đường  $P_{collapse\ Von\ Mises}$  để tránh gây sập lở.

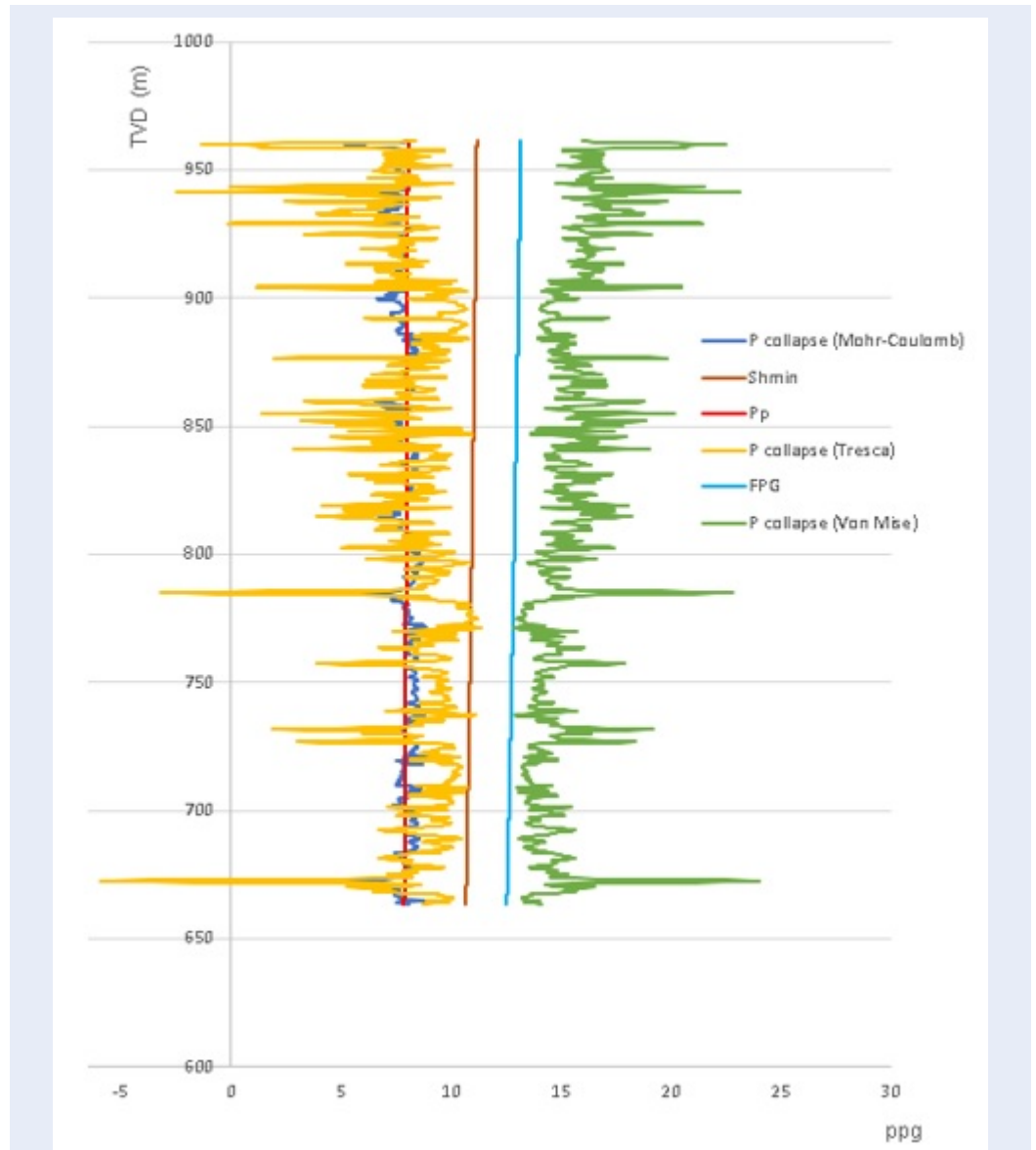
Qua bảng 8, ta có thể thấy nếu dùng các tiêu chí phá hủy khác nhau để khảo sát tỷ trọng dung dịch khoan thì ta sẽ tiết kiệm và tối ưu hóa được tầm được khoảng 9,6% so với tỷ trọng dung dịch khoan được đề xuất.

Hình 9 thể hiện kết quả tỷ trọng dung dịch khoan tại cùng một độ sâu nhưng với các độ nghiêng của giếng khác nhau. Khi độ nghiêng của giếng từ 0<sup>0</sup> đến 30<sup>0</sup> thì ta sẽ dùng tiêu chí phá hủy Mohr-Coulomb để khảo sát tỷ trọng dung dịch khoan tối thiểu là tối ưu nhất.



Hình 7: Biểu đồ các ứng suất theo độ sâu

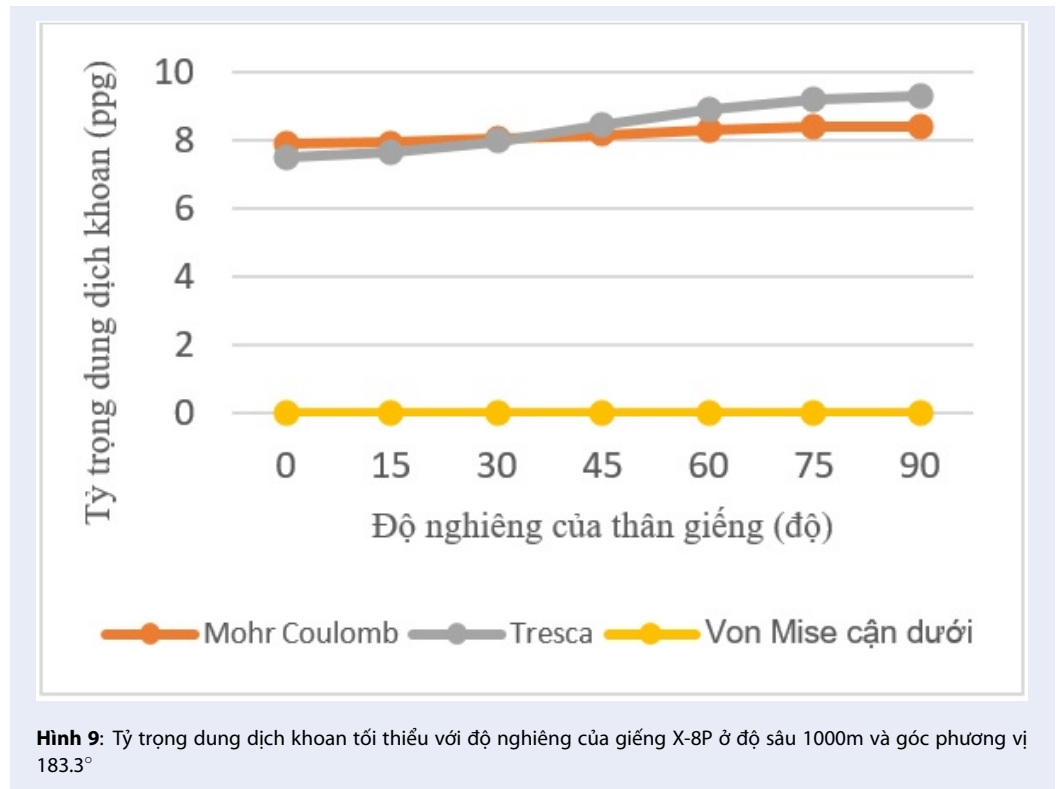




**Hình 8:** Đồ thị thể hiện mối quan hệ tỷ trọng dung dịch khoan của ba tiêu chí phá hủy về độ lớn CP, áp suất lỗ rỗng và ứng suất ngang nhỏ nhất của giếng X-8P

**Bảng 6:** Kết quả dự báo tỷ trọng dung dịch khoan tối thiểu theo các tiêu chí khác nhau và sự khác biệt tỷ trọng dung dịch khoan được đề xuất cho giếng X-8P tại điểm có độ sâu 1000m với góc phương vị 183.3<sup>0</sup>

Tiêu chí	Tỷ trọng dung dịch khoan tối thiểu được dự đoán theo các tiêu chí phá hủy	Phần trăm chênh lệch so với tỷ trọng dung dịch khoan được đề xuất là 9 ppg (%)
Mohr-Coulomb	8.0007	-11.10
Tresca	8.1304	-9.66
Von Mises	0.0009	-99.99



Với độ nghiêng của giếng từ 30<sup>0</sup> đến 90<sup>0</sup> thì ta sẽ dùng tiêu chí phá hủy Tresca để khảo sát tỷ trọng dung dịch khoan tối thiểu là tối ưu nhất cho đặc điểm thành tạo của giếng X-8P.

Theo Hình 10, cùng một độ sâu nhưng độ nghiêng của giếng khác nhau ta sẽ có những vùng của số dung dịch khoan khác nhau cho giếng X-8P như sau:

- Độ nghiêng của giếng từ 0<sup>0</sup> đến 30<sup>0</sup> ta sẽ chọn cửa sổ dung dịch khoan như sau: Cận dưới của tỷ trọng dung dịch khoan là  $P_{collapse (Mohr-Coulomb)}$ , cận trên sẽ là  $P_{collapse (Von Mises cn trn)}$ .
- Độ nghiêng của giếng từ 30<sup>0</sup> đến 90<sup>0</sup> ta sẽ chọn cửa sổ dung dịch khoan như sau: Cận dưới của tỷ trọng dung dịch khoan là  $P_{collapse (Tresca)}$ , cận trên sẽ là  $P_{collapse (Von Mises cn trn)}$ .

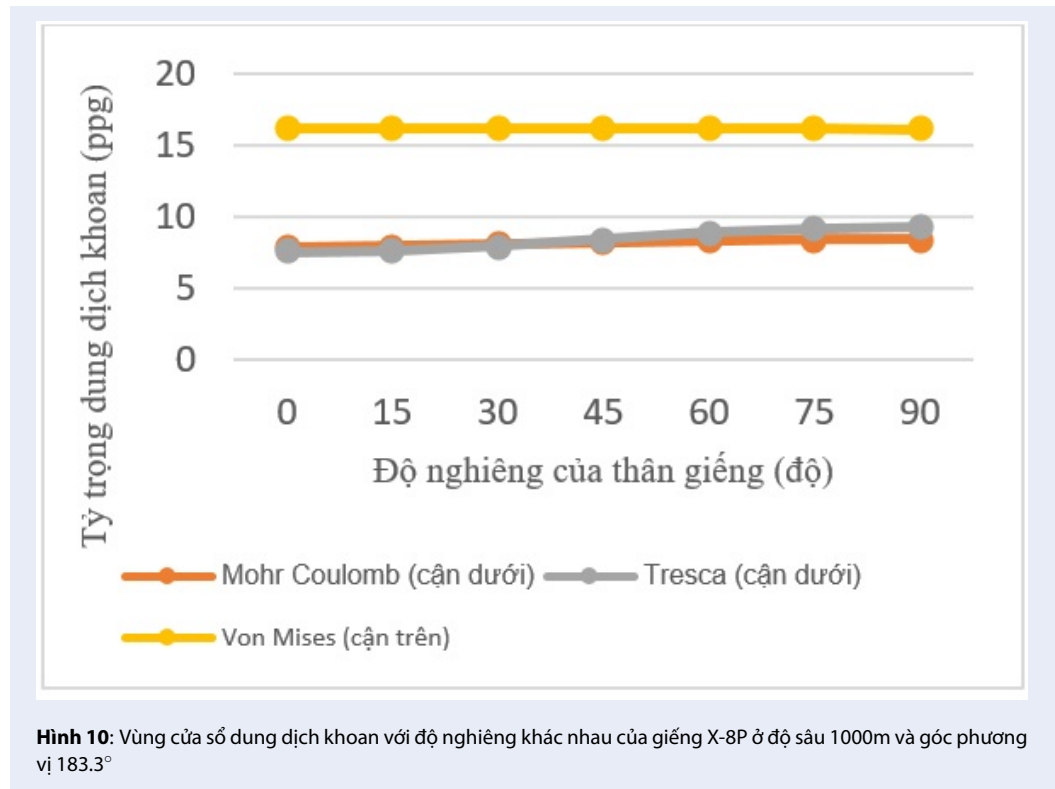
### THẢO LUẬN CÁC KẾT QUẢ

Kết quả cho thấy giá trị của ứng suất vòng sẽ tăng dần theo độ sâu. Càng xuống sâu thì giá trị của ứng suất vòng sẽ thay đổi phức tạp hơn. Kết quả này là hợp lý vì càng xuống sâu thì các khối đá sẽ càng bị nén chặt hơn. Điều này cũng dẫn tới kết quả là các ứng suất ngang lớn nhất, ứng suất ngang nhỏ nhất, ứng suất thẳng đứng và áp suất lỗ rỗng thì càng xuống sâu các giá trị này sẽ càng tăng. Riêng với độ bền nén đơn trục của đá thì giá trị thay đổi phức tạp hơn, nguyên

nhân là đại lượng này phụ thuộc nhiều vào tính chất nội tại của đá, tức là phụ thuộc vào bản chất của mỗi loại đá khác nhau, nên việc các giá trị thay đổi phức tạp là điều dễ hiểu. Tuy nhiên nhìn chung thì giá trị UCS tăng dần theo độ sâu bởi đã càng ở dưới sâu thì độ chặt càng cao hơn bởi lỗ rỗng giảm dần đi. Các kết quả cũng cho thấy việc lựa chọn tiêu chuẩn phá hủy để phân tích ổn định thành giếng khoan phụ thuộc độ nghiêng của thân giếng và giá trị của áp suất gây sập lở được tính toán bởi các tiêu chuẩn phá hủy. Do đó, nếu xem xét đồng thời nhiều tiêu chuẩn phá hủy sẽ giúp xác định được cửa sổ dung dịch khoan tối ưu, giúp tiết kiệm chi phí trong một số trường hợp và quan trọng nhất là giúp hạn chế được tối đa các rủi ro có thể xảy ra trong quá trình khoan.

### KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phân tích sự ổn định thành giếng khoan theo các tiêu chí phá hủy khác nhau (Mohr-Coulomb, Tresca và Von Mises) cho giếng X-8P trong khu vực mỏ X thuộc bồn trũng Nam Côn Sơn. Nghiên cứu đã rà soát và biến đổi lại các công thức phân tích sự ổn định giếng khoan đứng và nghiêng theo tiêu chí Tresca. Bên cạnh đó, nghiên cứu đã xây dựng mới các công thức phân tích sự ổn định giếng khoan đứng và nghiêng theo tiêu chí Von Mises. Kết quả thu được cho thấy tùy vào từng độ sâu và độ nghiêng của thân



**Hình 10:** Vùng cửa sổ dung dịch khoan với độ nghiêng khác nhau của giếng X-8P ở độ sâu 1000m và góc phương vị 183.3°

giếng, việc lựa chọn tỷ trọng dung dịch khoan tối ưu sẽ tốt hơn nếu ta xét theo nhiều tiêu chí phá hủy như của Mohr-Coulomb, Tresca và Von Mises. Cụ thể, nếu ta sử dụng biên dưới cửa sổ dung dịch khoan là áp suất lỗ rỗng thì sẽ có những đoạn gây ra sự cố sập lở do chưa xem xét đến áp suất gây sập lở. Tương tự nếu ta sử dụng biên trên của cửa sổ dung dịch khoan là áp suất bắt đầu tạo khe nứt (FPG) thì cũng sẽ có những đoạn gây sự cố sập lở. Ngoài ra, nghiên cứu cũng cho thấy việc cần khảo sát và xem xét tới yếu tố thành tạo của giếng, độ sâu và độ nghiêng của thân giếng trong việc phân tích sự ổn định của thành giếng khoan. Để dự đoán khả năng xảy ra sự cố xung quanh giếng trong quá trình khoan, ta nên sử dụng các tiêu chí phá hủy để so sánh cường độ của đá với ứng suất tiếp tuyến gây ra xung quanh giếng, từ đó lựa chọn tỷ trọng dung dịch khoan phù hợp.

### DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT VÀ THUẬT NGỮ

Bảng 7

### XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

### ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

**Lê Tuấn An**<sup>1,2</sup> thu thập dữ liệu, xây dựng công thức và viết bản thảo bài báo.

**Phạm Sơn Tùng**<sup>1,2,\*</sup> tham gia vào việc đưa ra ý tưởng, viết bài, định hướng và giám sát quá trình hoàn thiện bài báo, kiểm tra và chỉnh sửa lại bài báo.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aadnoy BS, Chenevert ME. Stability of highly inclined boreholes. SPE Drilling Engineering. 1987;2:364-374; Available from: <https://doi.org/10.2118/16052-PA>.
- Rahimi R. The effect of using different rock failure criteria in wellbore stability analysis. Missouri University of Science and Technology, Masters Theses. 2014; Available from: [https://scholarsmine.mst.edu/masters\\_theses/7270/](https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/7270/).
- holami R, Moradzadeha A, Rasouli V, Hanachi J. Practical application of failure criteria in determining safe mud weight windows in drilling operations. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014;6(1):13-25; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2013.11.002>.
- Ma T, Chen P, Yang C, Zhao J. Wellbore stability analysis and well path optimization based on the breakout width model and Mogi-Coulomb criterion. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015;135:678-701; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.10.029>.
- Zoback MD. Reservoir Geomechanics. Department of Geophysics, Stanford University. ISBN-978-0-521-77069-9. 2010;.
- Bagheri H, Tanha AA, Ardejani FD, Tajareh MH, Larki E. Geomechanical model and wellbore stability analysis utilizing acoustic impedance and reflection coefficient in a carbonate reservoir. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2021;11:3935-3961; Available from: <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01291-2>.

**Bảng 7: Danh sách các ký hiệu viết tắt và thuật ngữ**

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
$\sigma$	Ứng suất	psi
$\sigma'$	Ứng suất hiệu dụng	psi
$\sigma_{Hmin}$	Ứng suất ngang nhỏ nhất	psi
$\sigma_{Hmax}$	Ứng suất ngang lớn nhất	psi
$\sigma_v$	Ứng suất đứng	psi
$\sigma_\theta$	Ứng suất vòng quanh lỗ khoan	psi
$\sigma_r$	Ứng suất hướng tâm	psi
$\sigma_{zz}$	Ứng suất dọc lỗ khoan	psi
$\alpha$	Góc giữa hướng lỗ khoan và $\alpha_{Hmax}$	rad
$\alpha_H$	Góc phương vị của $\alpha_{Hmax}$ với phương Bắc	rad
$\alpha_{hole}$	Góc phương vị lỗ khoan với phương Bắc	radians
$\tau$	Ứng suất tiếp	psi
$\nu$	Hệ số poisson	
$\mu$	Hệ số góc ma sát trong	
$\theta$	Góc ma sát trong	rad
$i$	Góc nghiêng của giếng	rad
CP	Collapse Pressure (Áp suất gây sập lở)	psi
MW	Mud Weight (Tỷ trọng dung dịch khoan)	ppg
ELOT	Thí nghiệm Extended Leak Off Test	
FPG	Fracture Pressure Gradient (Áp suất bắt đầu tạo khe nứt)	si
LOT	Thí nghiệm Leak Off Test	
$P_p$	Áp suất lỗ rỗng	si
$P_w$	Áp suất trong giếng	psi
PPG	Pounds Per Gallon	
$S_0$	Độ bền kết dính đất đá	psi
T	Độ bền kéo	psi
TVD	True Vertical Depth	m
UCS	Unconfined Compressive Strength (Độ bền nén đơn trục)	psi

- Fjar E, Holt RM, Raaen AM, Risnes R, Horsrud P. Petroleum related rock mechanics (2nd edition). Elsevier. ISBN: 9780444502605. 2008;.
- Jalalifar H, Aslannejad M. Analysis of vertical, horizontal and deviated wellbores stability by analytical and numerical methods. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2014; Available from: <https://doi.org/10.1007/s13202-014-0100-7>.
- Aslannejad M, Manshad AK, Jalalifar H. Determination of a safe mud window and analysis of wellbore stability to minimize drilling challenges and non-productive time. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2016;6(3):493-503; Available from: <https://doi.org/10.1007/s13202-015-0198-2>.
- Al-Ajmi AM. Wellbore stability analysis based on a new true-triaxial failure criterion. Ph.D. Dissertation, University of KTH, Oklahoma. ISBN 91-7178-406-3. 2006;.

# Analysis of wellbore stability using different rock failure criteria

Le Tuan An<sup>1,2</sup>, Pham Son Tung<sup>1,2,\*</sup>

## ABSTRACT

Wellbore stability analysis during drilling operation is an essential step in order to minimize possible risks, thereby reducing drilling costs and ensuring safety for the environment and for the people. The aim of this paper is to analyze the stability of the wellbore using different failure criteria such as Mohr-Coulomb, Tresca and Von Mises. The Mohr-Coulomb failure criterion is an evaluation method based on dynamic friction and tension models in materials. According to the Tresca criterion, if the difference between the highest and the lowest tension stress on the shear plane exceeds the shear stress limit of the material, the material will crack or become permanently deformed. According to the Von Mises criterion, if the Von Mises stress exceeds the strength limit of the material, it may be permanently deformed or destroyed. The results of this study show that if only the pore pressure is used for the lower boundary of the drilling mud window, there will be unstable sections because the collapse pressure has not been considered in the analysis. Similarly, if we use only the fracture gradient for the upper boundary of the drilling mud window, there will also be sections that cause wellbore collapse. Therefore, in order to cover all possibilities of potential collapse in the wellbore, we should simultaneously use different failure criteria, which are Mohr-Coulomb, Tresca and Von Mises. This study also considered the inclination of the well trajectory in the analysis, so that appropriate failure criteria can be used for various wellbore segments. The contributions of this study are therefore not only about the academic aspect but also the practical aspect because the process can be applied in real life to find out the most optimal and safest drilling fluid density.

**Key words:** Wellbore stability analysis, Failure criteria, Mohr-Coulomb, Tresca, Von Mises

---

<sup>1</sup>Department of Drilling and Production Engineering, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

## Correspondence

**Pham Son Tung**, Department of Drilling and Production Engineering, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: phamsontung@hcmut.edu.vn

## History

- Received: 22-9-2023
- Accepted: 14-12-2023
- Published Online: 31-3-2024

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjet.v6iS17.1213>



**Cite this article :** An L T, Tung P S. **Analysis of wellbore stability using different rock failure criteria** . *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024, 6(S17):1-13.