

## ỨNG SUẤT KIẾN TẠO VÀ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HOẠT ĐỘNG KHOAN DẦU KHÍ

Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Thanh Tùng, Lê Vũ Quân, Lê Quốc Trung, Trần Đăng Tú

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: tuananguyen@vpi.pvn.vn

### Tóm tắt

Dự án Bản đồ ứng suất kiến tạo thế giới (World Stress Map - WSM) là dự án hợp tác giữa các học viện, các ngành công nghiệp và các chính phủ nhằm xây dựng bộ cơ sở dữ liệu toàn diện về ứng suất căng giãn trong thạch quyển để hiểu rõ hơn về trạng thái và nguồn gốc của ứng suất kiến tạo hiện tại. Bài báo phân tích tác động của ứng suất kiến tạo đến hoạt động khoan dầu khí, từ đó đề xuất các giải pháp để giảm thiểu tác động xấu của ứng suất kiến tạo đến quá trình khoan.

**Từ khóa:** Ứng suất kiến tạo, hoạt động khoan.

### 1. Giới thiệu

Trong quá trình hình thành vỏ trái đất, các mảng lục địa chuyển động bởi lực kiến tạo đã tạo ra hình thái vỏ trái đất. Các lực kiến tạo đã tạo ra các trường ứng suất ở quy mô lục địa, khu vực và trong các bể trầm tích.

Từ năm 1986, Dự án WSM đã tập hợp hơn 14.000 chỉ số về ứng suất hiện tại và cung cấp cơ sở dữ liệu, bản đồ ứng suất, phần mềm và các dịch vụ miễn phí. WSM đã cung cấp thông tin chi tiết quan trọng về trường ứng suất ở quy mô thạch mảng và quy mô khu vực. Thông tin cho thấy trường ứng suất chủ yếu bị chi phối bởi các lực tác dụng tại rìa các mảng, đặc biệt là tại các gờ núi giữa đại dương và các đới va chạm lục địa. Tuy nhiên, trạng thái của trường ứng suất ở quy mô nhỏ hơn thường ít được hiểu biết hơn. Ở các bể trầm tích, sự hiểu biết về các trường ứng suất địa phương là rất quan trọng để cải thiện tính ổn định của giếng khoan, thiết kế ép vỉa thủy lực và xây dựng kế hoạch bơm ép nước. Trong khi một số bể trầm tích có các trường ứng suất khá đồng nhất (ví dụ bể Tây Canada), các bể khác lại có trường ứng suất bất đồng nhất (ví dụ trung tâm Biển Bắc). Các phương ứng suất địa phương quy mô nhỏ được cho là kết quả của các lực trường xa (farfield forces), cấu trúc địa chất (ví dụ: diapirs, đứt gãy) và tương phản cơ học (ví dụ: đá evaporate, đá phiến áp suất cao). Tuy nhiên, sự xuất hiện và nguồn gốc của các trường ứng suất quy mô nhỏ trong các bể trầm tích vẫn chưa được hiểu rõ, chủ yếu là do thiếu dữ liệu ứng suất. Mặc dù đã có gần 20 năm thu thập dữ liệu và áp dụng rộng rãi dữ liệu

ứng suất trong thăm dò và khai thác dầu khí, thực tế là trạng thái ứng suất ở các khu vực có trữ lượng dầu khí lớn hàng đầu của thế giới gồm Trung Đông, Bắc Phi và ngoài khơi vịnh Mexico vẫn còn được hiểu biết rất ít.

Ở đây, các nghiên cứu của WSM và khảo sát các nguồn ứng suất mà WSM kiểm soát sự biến thiên ứng suất từ quy mô mảng đến quy mô địa phương. Các nghiên cứu của WSM nhấn mạnh đến trường ứng suất hiện tại trong các bể trầm tích.

Đề án này đang biên soạn một cơ sở dữ liệu về hướng ứng suất ở các mỏ dầu nhằm hiểu rõ hơn về các lực kiểm soát ứng suất trong các bể trầm tích và cung cấp giá trị nền tảng cho nghiên cứu địa cơ học trong dầu khí. Trong quá trình khoan dầu khí các ứng suất kiến tạo địa phương gây ảnh hưởng lớn đến các hoạt động khoan như: mất ổn định thành giếng, tạo ra mùn khoan kích thước lớn (caving), sập lở thành giếng gây kẹt cần cũng như kẹt ống chống...

### 2. Ứng suất kiến tạo

Dự án WSM là dự án cơ bản để tìm hiểu về kiến tạo đương đại và các quá trình địa động lực. WSM khởi đầu là một dự án thuộc Chương trình thạch quyển quốc tế. Từ 1986 - 1992, WSM được điều hành bởi Mary Lou Zoback và có sự tham gia của hơn 30 nhà khoa học trên toàn thế giới. Từ năm 1995, WSM trở thành một dự án của Viện Khoa học Heidelberg và được đặt tại Đại học Karlsruhe (Đức), nhưng WSM vẫn là nỗ lực hợp tác của các nhà khoa học và kỹ sư trên toàn thế giới. Trọng tâm chính của dự án là phát triển và biên soạn một cơ sở dữ liệu ứng suất có phân loại chất lượng. Cơ sở dữ liệu năm 2005 gồm hơn 14.000 dữ liệu

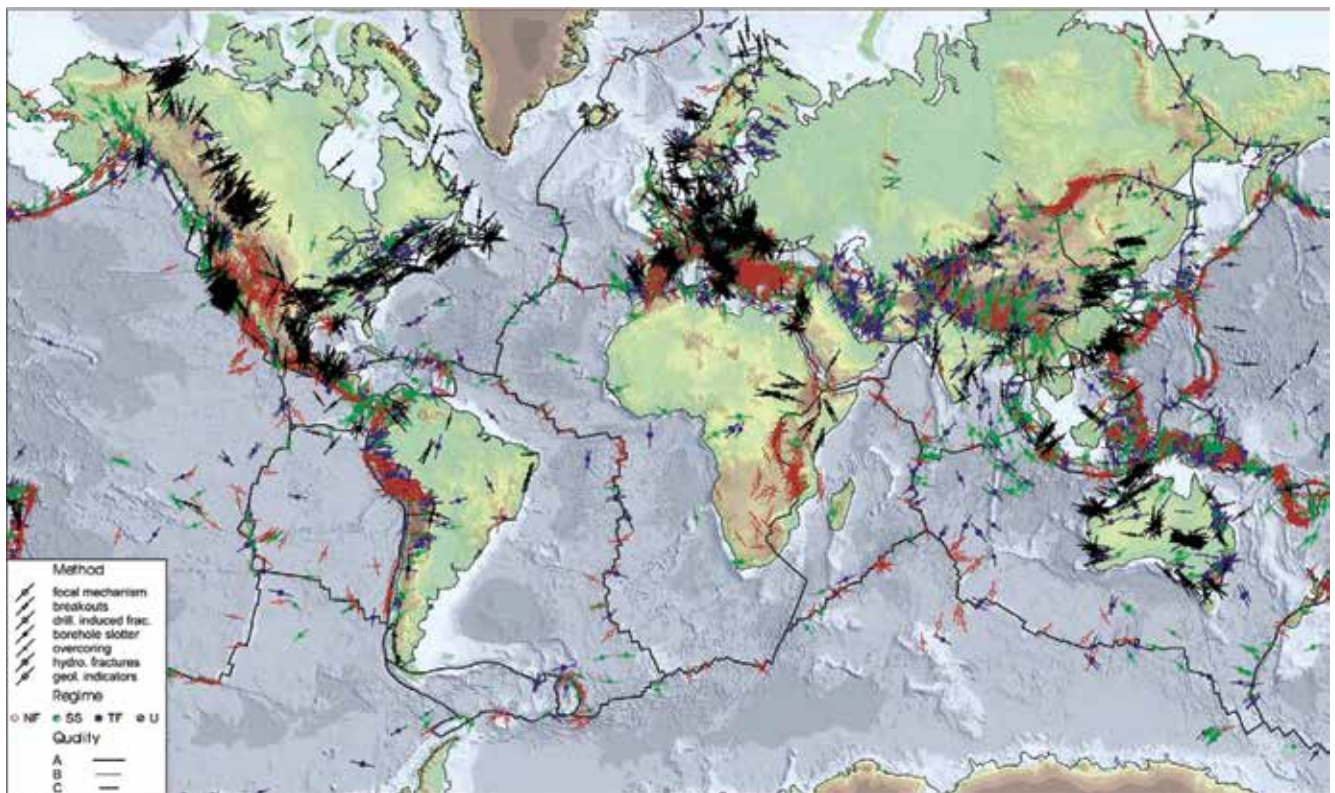
về hướng ứng suất ngang cực đại được minh giải từ một loạt các chỉ số ứng suất trong phạm vi 40km phía trên của thạch quyển (Hình 1).

Các phương pháp xác định hướng ứng suất ngang. Thông tin ứng suất hiện tại trong cơ sở dữ liệu WSM được ước tính từ nhiều phương pháp khác nhau. Trong đó chủ yếu là phương pháp cơ chế tiêu điểm động đất, sập lở thành giếng khoan và nứt nẻ do khoan (từ log hình ảnh giếng khoan hoặc caliper nhiều càng đo), đo đặc ứng suất tại chỗ (phương pháp khoan chùm, nứt vỉa thủy lực) và các chỉ số địa chất như: đứt gãy trượt và hướng miệng phun núi lửa (xem mô tả của các phương pháp trong tài liệu của Zoback, 1992). Mỗi phương pháp cung cấp thông tin trường ứng suất ở các độ sâu khác nhau. Giải pháp cơ chế tiêu điểm động đất cung cấp thông tin về trạng thái ứng suất trong lớp vỏ sâu (5 - 40km). Các phép đo ứng suất tại chỗ như khoan chùm và nứt vỉa thủy lực thường được sử dụng để xác định định hướng và cường độ ứng suất trong mỏ và công trình dân dụng (ví dụ: đường hầm) và do đó, thường cung cấp các phép đo ứng suất trong vòng 1km của lớp vỏ. Các chỉ số địa chất như phân tích đứt gãy trượt cung cấp thông tin ứng suất trên bề mặt. Tuy nhiên, ở đây các nghiên cứu tập trung vào xác định định hướng ứng

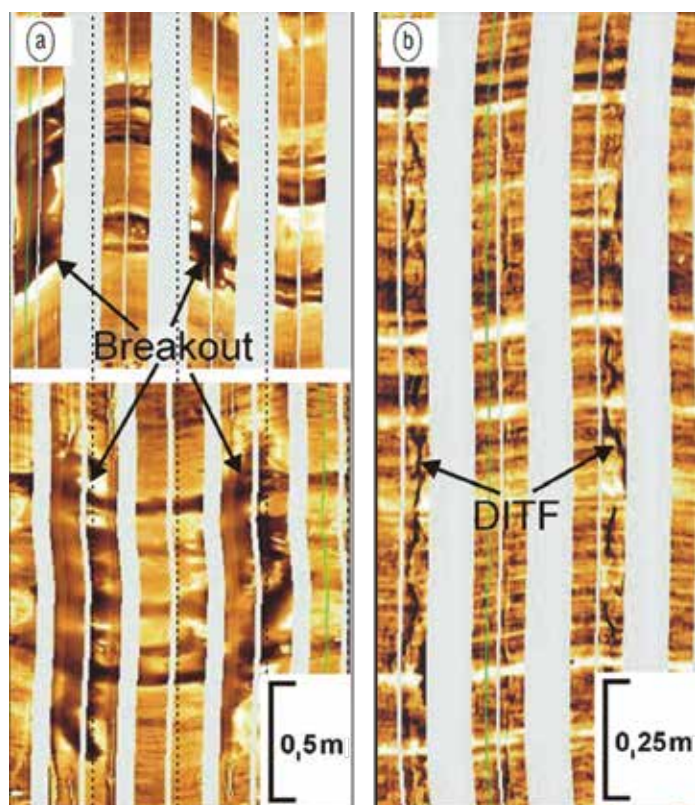
suất trong các mỏ dầu, đó là chủ yếu được ước tính từ hiện tượng sập lở thành giếng khoan và các nứt nẻ gây ra bởi giếng khoan.

Hiện tượng sập lở thành giếng khoan và các nứt nẻ bị gây ra bởi ứng suất nén ép tập trung xung quanh giếng khoan và xung quanh bất kỳ khoảng trống ngầm nào. Sập lở thành giếng khoan được tạo ra khi mặt cắt giếng bị kéo dài do ảnh hưởng của ứng suất, được hình thành khi ứng suất trên thành giếng vượt quá áp suất phá hủy của thành hệ. Mặt cắt giếng khoan bị kéo dài là do quá trình phá hủy trượt nén trên các mặt phẳng giao nhau làm cho thành giếng bị lở ra từng mảng (Hình 2a - BO). Trong các giếng khoan thẳng đứng, ứng suất cực đại có phương vuông góc với ứng suất ngang cực đại và do đó sập lở thành giếng xảy ra vuông góc với phương ứng suất ngang cực đại. Nứt nẻ căng giãn do khoan bị gây ra bởi phá hủy căng giãn của thành giếng khi ứng suất của thành giếng nhỏ hơn độ bền kéo của thành hệ. Ở các giếng khoan thẳng đứng, nứt nẻ do khoan hình thành song song với phương ứng suất ngang cực đại (Hình 2b - DITF).

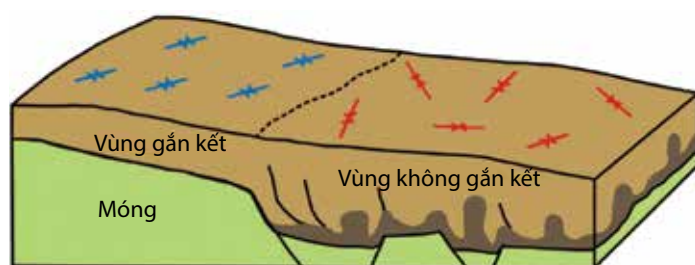
Sập lở thành giếng khoan có thể được minh giải từ tài liệu caliper 4 hoặc 6 càng (ví dụ như Dipmeter phân giải cao) hoặc từ tài liệu ảnh siêu âm hoặc điện trở (ví dụ như



**Hình 1.** Bản đồ ứng suất kiến tạo thế giới. Phân loại độ tin cậy ứng suất theo A, B, C; NF: ứng suất đứt gãy bình thường (màu đỏ); SS: ứng suất trượt (màu xanh lá cây); TF: ứng suất nghịch (màu xanh); U: không xác định (màu đen). Phương pháp nghiên cứu: Focal mechanism - ứng suất tập trung; Breakout - nén ép; DITF - tách giãn; borehole slotter - thành giếng khoan; overcoring - lấy mẫu; hydro fracture - nứt vỉa thủy lực; Geol indicators - các dấu hiệu địa chất [1].



Hình 2. Sập lở (BO) (a) do nén ép và nứt nẻ căng giãn (DITF) (b) hình chụp do log FMI [1]



Hình 3. Mô hình ứng suất kiến tạo cho khu vực địa phương [1]

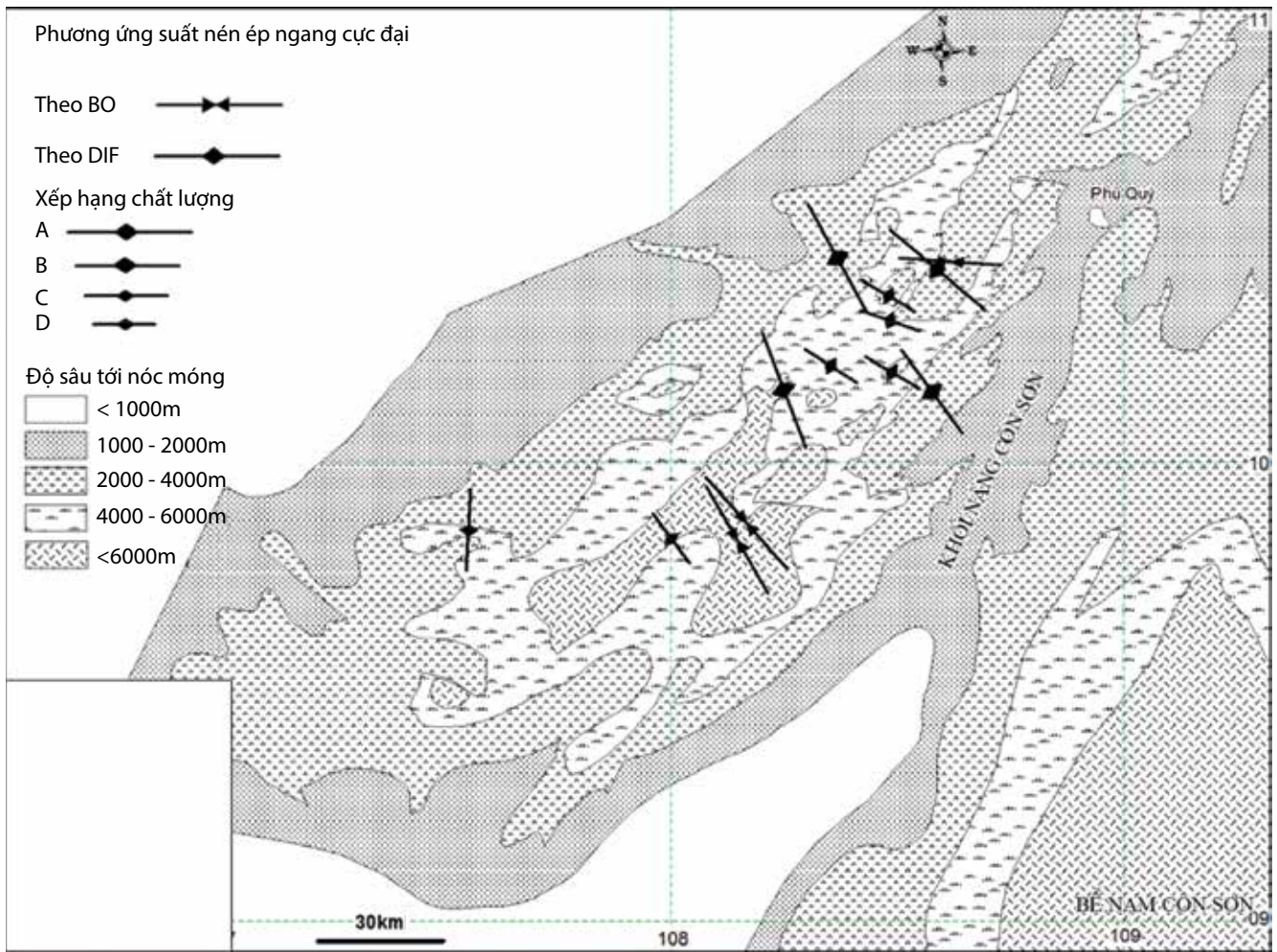
FMI, STAR). Thiết bị caliper 4 hoặc 6 càng cung cấp dữ liệu về kích thước giếng khoan theo 2 - 3 hướng. Các dữ liệu này có thể được sử dụng để xác định hình dạng mặt cắt giếng khoan và phân biệt khoảng sập lở với các khoảng thành giếng bị biến dạng nhưng không do ứng suất gây ra chẳng hạn như xói lở (washout) hay mài rộng do các thiết bị (key-seat). Các loại log hình ảnh cung cấp thông tin đáng tin cậy hơn và là phương tiện để minh giải sập lở thành giếng khoan một cách trực tiếp. Hình ảnh khoảng sập lở thành giếng khoan trên tài liệu log ảnh điện trở là một cặp các đối dẫn điện có độ phân giải kém, song song với trục giếng khoan và cách nhau khoảng 180° (Hình 2a). Hình ảnh khoảng sập lở trên tài liệu log ảnh siêu âm (cơ bản là hình ảnh của thời gian di chuyển) là một cặp các đối kéo dài, song song với trục giếng khoan và được cách nhau khoảng 180°. Kết quả minh giải các nứt nẻ do khoan trên tài liệu caliper 4 hoặc 6 càng thì không đáng tin cậy nhưng tài liệu log hình

ảnh có thể trực tiếp quan sát được sập lở thành giếng khoan nên đáng tin cậy hơn nhiều. Trên log ảnh điện trở hình ảnh khoảng sập lở thể hiện là một cặp các vùng dẫn điện hẹp, trên log ảnh siêu âm, đây là các vùng có biên độ thấp và cả 2 đều song song với trục giếng khoan và cách nhau khoảng 180° (Hình 2b). Sập lở thành giếng khoan và nứt nẻ do khoan không chỉ là nguồn thông tin chính về ứng suất trong các bể trầm tích mà còn cung cấp thông tin về hướng ứng suất rất chính xác và tin cậy. Sập lở thành giếng khoan và nứt nẻ do khoan cung cấp phần lớn dữ liệu ứng suất có chất lượng cao nhất (A và B) trong cơ sở dữ liệu WSM.

Dữ liệu ứng suất được xếp hạng chất lượng. Tính năng đáng chú ý của WSM là mọi chỉ số ứng suất trong cơ sở dữ liệu đều được đánh giá chất lượng theo các tiêu chí quốc tế và được tham chiếu để có thể truy tìm nguồn gốc hoặc người minh giải của điểm dữ liệu đó. Dữ liệu trong hệ thống WSM được xếp hạng chất lượng từ cấp A (cao nhất; độ chính xác của hướng ứng suất trong khoảng  $\pm 15^\circ$ ) đến cấp E (thấp nhất; không có hướng ứng suất đáng tin cậy). Dữ liệu WSM cho phép dễ dàng truy cập thông tin của từng chỉ số ứng suất như độ chính xác, tỷ lệ xích và độ tin cậy. Ví dụ: định hướng ứng suất có chất lượng A từ tài liệu sập lở thành giếng khoan yêu cầu phải có được ít nhất 10 điểm quan sát có cùng định hướng (với độ lệch chuẩn  $< 12^\circ$ ) trong một giếng khoan với tổng chiều dài sập lở trên 300m. Hơn nữa, việc xếp hạng chất lượng của tất cả các chỉ số ứng suất tạo điều kiện để so sánh dữ liệu ứng suất được xác định từ các phương pháp và chiều sâu khác nhau. Nói chung, các chỉ số có chất lượng cấp A, B và C được coi là đáng tin cậy để sử dụng trong phân tích kiến tạo.

Ở các khu vực được tách ra một cách cơ học từ các ứng suất trường xa, ứng suất địa phương được cho là có sự xáo trộn lớn hơn. Các bể trầm tích có thể được tách ra khỏi ảnh hưởng của các ứng suất trường xa bởi các đá trầm tích bay hơi evaporite "yếu" về mặt cơ học, đá phiến linh động hoặc các lớp đá áp suất cao. Các loại đá này ngăn chặn không cho ứng suất trường xa của móng truyền được đến các tầng phủ bên trên và tạo ra các trường ứng suất địa phương. Hình 3 cho thấy, ứng suất địa phương của khu vực gắn kết với đá móng có phương ổn định hơn so với khu vực không gắn kết với đá móng (Hình 3) [1].

Tại Việt Nam, bể Cửu Long, sau khi nghiên cứu tài liệu địa vật lý giếng khoan trên 30 giếng, Nguyễn Văn



Hình 4. Sơ đồ ứng suất nén ép ngang cực đại bể Cửu Long [2]

Hướng và cộng sự đã thiết lập được bản đồ ứng suất nén ép ngang cực đại của bể Cửu Long (Hình 4). Tài liệu chất lượng tốt gồm 3 loại: FMS, FMI và CBIL trong đó phổ biến nhất là tài liệu địa vật lý giếng khoan FMI. Để đảm bảo thông tin trực tiếp nhất về ứng suất kiến tạo các giếng được lựa chọn trong giai đoạn tìm kiếm thăm dò và có độ nghiêng nhỏ hơn 20°.

Trong số 13 giếng có chỉ thị độ phá hủy tin cậy thì 10 giếng phát hiện DITF còn lại 3 giếng phát hiện BO. Trong 5 giếng chất lượng A thì có 3 giếng phát hiện trên DITF và 2 giếng trên BO. Các chỉ thị chủ yếu có phương biến đổi từ Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam đến Tây Bắc - Đông Nam [2].

### 3. Ảnh hưởng của ứng suất kiến tạo đến hoạt động khoan

Ứng suất kiến tạo ở quy mô địa phương trong các bể trầm tích có thể gây ra sự mất liên kết trong đất đá của các tầng địa chất, làm cho sự mất ổn định của các tầng địa chất bở rời hoặc phá vỡ các liên kết đất đá của các tầng địa chất có độ giòn cao.

Đối với các tầng địa chất bở rời dưới áp lực của ứng suất kiến tạo, khi mũi khoan đi qua tầng địa chất này dễ gây ra hiện tượng sập lở thành giếng khoan, một sự cố phổ biến khi khoan dầu khí.

Để nhận biết hiện tượng này cần theo dõi tốc độ khoan, cần chú ý khi tốc độ khoan đột ngột tăng cao hoặc theo dõi mùn khoan trên sàng rung, hiện tượng này kéo theo một lượng lớn mùn khoan được đưa lên bề mặt (Hình 4).

Hiện tượng sập lở thành giếng khoan dẫn đến nhiều hệ lụy khác nhau như: kẹt cần do giếng không được bơm rửa tốt cũng như kẹt dụng cụ đo địa vật lý khi dụng cụ đo đi qua vùng sập lở, hoặc ảnh hưởng đến chất lượng xi măng khi xi măng không lấp đầy khoảng không vành xuyên bị rửa trôi.

Tại giếng khoan Lô 16-2 bể Cửu Long, khi khoan qua chiều sâu 3.918m, một lượng lớn mùn khoan được phát hiện trên sàng rung. Bộ khoan cụ bị kẹt, nhà thầu bơm dung dịch độ nhớt cao để bơm rửa (Hi-vis). Thực hiện cứu kẹt bằng búa đập (jar) do tầng sét không ổn định [5].



Hình 5. Khối lượng lớn mùn khoan trên sàng rung [5]



Hình 6. Mùn khoan cỡ lớn (caving) giếng X, Lô M - Myanmar [4]

Đối với các tầng sét giòn, dưới tác động của ứng suất kiến tạo, các liên kết đất đá có thể bị phá vỡ hoặc yếu đi, từ đó tạo ra một tầng địa chất không ổn định, rất dễ bị phá vỡ khi mũi khoan đi qua. Hiện tượng này tạo ra một lượng lớn mùn khoan có kích thước lớn từ vài cm đến chục cm (caving). Khi hiện tượng này xảy ra có thể nhận biết qua các thông số khoan không ổn định như: moment quay (torque) và tải trọng lên chòong khoan, đột ngột thay đổi tốc độ bơm rửa hoặc quan sát trên sàng rung của máy tách mùn khoan Shale shakes thấy mùn khoan có kích cỡ lớn so với bình thường xuất hiện.

Tại giếng khoan Lô M - Myanmar tại công đoạn khoan 16" năm 2015 đã phát hiện mùn khoan cỡ lớn (caving) trên sàng rung. Các thông số khoan như moment quay (torque) và tải trọng có sự thay đổi đột ngột so với thông thường (Hình 5). Các dấu hiệu trên đã báo hiệu sự có mặt của ứng suất kiến tạo trong bể trầm tích. Sau khi khoan qua công đoạn này, nhà điều hành đã cho tiến hành bơm rửa và thả ống chống 13 $\frac{3}{8}$ ". Kết quả khi chưa thả ống chống tới độ sâu thiết kế, sự va đập của thân ống chống đã làm vỡ thêm các liên kết vốn đã rất yếu trong khi khoan, dẫn đến thành giếng sập lở và không thể tuần

hoàn cũng như không thể tiến hành xi măng như dự kiến, gây thiệt hại rất lớn cho nhà điều hành cũng như chủ đầu tư [4].

Một trường hợp khác, giếng Bàng Noãn 01 năm 2010 - Lào, tại công đoạn 8 $\frac{1}{2}$ " độ sâu 2.200m khoan gặp caving xuất hiện trên sàng rung. Thông số moment quay rất cao. Ngay sau đó phải bơm rửa nhiều lần để đưa mùn khoan (dạng caving) lên bề mặt, tuy nhiên moment quay vẫn rất cao và cần kẹt ngay sau đó. Đối với các ví dụ thực tế về ứng suất kiến tạo có thể tìm thấy ở tài liệu giếng khoan của bất cứ bể trầm tích nào có hoạt động khoan [3].

Lực kiến tạo lớn thường nằm ở rìa các mảng địa chất, vì vậy khi khoan ở các lỗ dầu khí nằm trong khu vực hoạt động kiến tạo mạnh cần phải cẩn trọng và lưu ý ứng suất kiến tạo rất có thể gặp trong quá trình khoan. Ngoài ra các khu vực có núi cao thì khi khoan ở vùng trầm tích liên kế cũng có sự hiện diện của ứng suất kiến tạo.

Đối với việc chuẩn bị cho thi công khoan ở các nơi được dự kiến có ứng suất kiến tạo cần có các bước chuẩn bị thật tốt để giảm thiểu rủi ro như: lựa chọn bộ khoan cụ có đặc tính kỹ thuật chống rung lắc cao nhất (chống vibration) để giảm thiểu va đập của bộ khoan cụ vào thành giếng; lựa chọn dung dịch khoan có tỷ trọng hợp lý và có đặc tính lưu biến nâng mùn khoan cao hoặc thường xuyên bơm rửa bằng dung dịch có độ nhớt cao (Hi-vis) để nhanh chóng làm sạch mùn khoan trong thân giếng. Đối với công nghệ thả ống chống, nên sử dụng công nghệ thả ống liên tục CRTI. Công nghệ này có ưu điểm thả ống rất nhanh và có khả năng bơm rửa trong khi thả, sẽ giảm thiểu rủi ro kẹt ống chống.

Khi thi công khoan, cần lưu ý các tầng địa chất có tồn tại ứng suất kiến tạo. Lựa chọn chế độ khoan phù hợp ít gây các tác động vật lý đến thành giếng khoan nhất như: sử dụng các thông số khoan tối ưu, tốc độ kéo thả phù hợp và đặc biệt cần bơm rửa với chế độ bơm ổn định nhất để tránh các tác động bất ngờ vào tầng địa chất yếu. Ngoài ra trong khi khoan cần liên tục quan sát các dấu hiệu bất thường gây ra sập lở thành giếng như: moment quay, tải trọng lên chòong thay đổi; liên tục quan sát theo dõi mùn khoan và đặc biệt lưu ý khi thấy dấu hiệu có nhiều mùn khoan (cutting) hoặc caving trên sàng rung.

#### 4. Kết luận

Ứng suất kiến tạo là thông số tồn tại sẵn có trong lớp vỏ trái đất, vì vậy không thể loại bỏ trong quá trình khoan mà chỉ có thể giảm thiểu khả năng gây tác động xấu đến quá trình khoan. Nhóm tác giả đã đề xuất các giải pháp sau:

- Cần xây dựng một bản đồ ứng suất kiến tạo cho các bể trầm tích như kết hợp với Dự án Bản đồ ứng suất kiến tạo thế giới cập nhật số liệu ứng suất kiến tạo trên cơ sở số liệu của các giếng đã khoan trong bể trầm tích.
- Trong quá trình chuẩn bị khoan cần tham khảo các tài liệu về ứng suất kiến tạo khu vực cũng như địa phương. Đặc biệt lưu ý khi khu vực khoan nằm gần các khu vực hoạt động kiến tạo mạnh hoặc có núi cao. Công tác thiết kế giếng khoan như thiết kế bộ khoan cụ, dung dịch khoan, chế độ thủy lực, công nghệ thả ống cần tối ưu và phù hợp với tầng địa chất có tồn tại ứng suất kiến tạo.
- Trong khi thi công khoan cần theo dõi quan sát giếng thật chặt chẽ như theo dõi thông số khoan, quan

sát mòn khoan liên tục khi khoan qua công đoạn trên để kịp thời phát hiện và xử lý các sự cố.

#### Tài liệu tham khảo

1. Mark Tingay, Birgit Müller, John Reinecker, Oliver Heidbach, Friedemann Wenzel, Phillip Fleckenstein. *Understanding tectonic stress in the oil patch: The World Stress Map Project*. The Leading Edge. 2005; 24(12): p. 1276 - 1282.
2. Nguyễn Văn Hưởng, Phan Trọng Trính, Hoàng Ngọc Đăng. *Trạng thái ứng suất kiến tạo hiện đại khu vực bể Cửu Long*. 2011.
3. Salamander Energy. *Báo cáo kết thúc giếng khoan Bảng Noãn 01 Lào*. 2010.
4. PVEP. *Báo cáo kết thúc giếng khoan X Lô M - Myanmar*. 2015.
5. PVEP. *Báo cáo kết thúc giếng khoan Y Lô 16-2 - Việt Nam*. 2010.

## TECTONIC STRESS AND EFFECTS ON OIL AND GAS DRILLING ACTIVITIES

**Nguyen Anh Tuan, Nguyen Thanh Tung, Le Vu Quan, Le Quoc Trung, Tran Dang Tu**

Vietnam Petroleum Institute

Email: tuananguyen@vpi.pvn.vn

### Summary

The World Stress Map (WSM) Project is a collaborative project between academia, industries and governments to build a comprehensive global database of stress information to better understand the state and sources of current tectonic stress in the lithosphere. The paper analyses the impact of tectonic stress on oil and gas drilling activities, thereby proposing solutions to minimising the negative impact of tectonic stress on the drilling process.

**Key words:** Tectonic stress, drilling activities.