

ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT CAO NHIỆT ĐỘ CAO ĐẾN THỜI GIAN QUÁNH CỦA VỮA XI MĂNG TRONG QUÁ TRÌNH BƠM TRÁM GIẾNG KHOAN TẠI BỂ NAM CÔN SƠN

Trương Hoài Nam

Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

Email: namth@pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2024.01-04>

Tóm tắt

Thời gian quánh (thickening time) là thông số quan trọng ảnh hưởng đến quá trình trám xi măng giếng khoan, quyết định chất lượng và hiệu quả thi công giếng khoan. Trong quá trình bơm ép, thời gian quánh của vữa trám cần phải lớn hơn khoảng thời gian thao tác bơm trám. Ngược lại, sẽ xảy ra các sự cố do xi măng đóng rắn trước khi triển khai các quá trình công nghệ, dễ dẫn đến các phức tạp và sự cố, gây tổn kém vật tư và chi phí, kéo dài thời gian thi công. Hiện nay, xi măng Portland G-API - loại xi măng phổ biến để trám các giếng khoan sâu - vẫn được sử dụng để trám các giếng khoan dầu khí. Tuy vậy, trong điều kiện áp suất cao, nhiệt độ cao tại bể Nam Côn Sơn cần thiết phải bổ sung phụ gia bền nhiệt silica để bảo đảm thời gian quánh của vữa xi măng phù hợp với các điều kiện trong giếng khoan.

Từ khóa: Áp suất cao nhiệt độ cao, vữa xi măng, thời gian quánh, bể Nam Côn Sơn.

1. Giới thiệu

1.1. Đặc điểm áp suất cao nhiệt độ cao bể Nam Côn Sơn

Các điều kiện địa chất bể Nam Côn Sơn rất phức tạp, đặc biệt là sự xuất hiện áp suất cao và nhiệt độ cao.

Trong địa tầng Miocene giữa và Miocene sớm, tại các giếng 04-2-SB-1X, 04-2-NB-1X nhiệt độ trên đáy giếng đo được dao động từ 135 - 170°C ở chiều sâu từ 3.800 - 4.000 m. Đặc biệt tại giếng khoan 04-2-HT-1X ở chiều sâu 4.548 m nhiệt độ đo được đến 210°C.

Trong một số giếng khoan, gradient áp suất vỉa đạt đến 1,6 MPa/100 m như các giếng 04-3A-1X, 04-3-MC-2X...; có những giếng khoan gradient áp suất đạt 1,9 - 2,04 MPa/100 m như các giếng 04-1-ST-IX, 04-SDN-1X, 05-2-HT-1X... [1, 2].

Tình trạng càng phức tạp khi trong giếng khoan xuất hiện đồng thời áp suất cao, nhiệt độ cao như tại giếng 05-2-HT-2X, ở chiều sâu 3.740 m nhiệt độ trên đáy giếng là 172°C và áp suất vỉa - 74 MPa; tại giếng 05-1c-DN-2X-ST2, tại chiều sâu 4.245 m nhiệt độ 185°C, áp suất trên đáy -

98,7 MPa; hoặc tại giếng 04-2-HT-1X ở chiều sâu 4.548 m nhiệt độ trên đáy là 210°C và áp suất vỉa - 91 MPa.

Tại bể Nam Côn Sơn, các mỏ có áp suất cao/nhiệt độ cao có thể phân thành 2 cấp: (i) cấp nhiệt độ từ 150 - 175°C và áp suất từ 69 - 103 MPa; (ii) cấp nhiệt độ từ 175 - 200°C và áp suất trên 103 - 138 MPa [3, 4].

1.2. Những sự cố trong trám xi măng giếng khoan

Trong quá trình thi công các giếng khoan tại bể Nam Côn Sơn đã xảy ra các phức tạp, sự cố nghiêm trọng trong quá trình bơm trám giếng, đặc biệt tại những khu vực có áp suất cao, nhiệt độ cao.

Tại giếng 05-3-MT-1RX, trong quá trình bơm ép, vữa xi măng trong cột ống chống 13 $\frac{3}{8}$ " đã không ép được vào khoảng không vành xuyên, mặc dù đã sử dụng các biện pháp khắc phục nhưng không thành công, hậu quả là toàn bộ lượng vữa xi măng nằm lại trong ống chống từ chiều sâu 2.097 - 2.882 m.

Tương tự, tại giếng 05-1b-TL-2X, trong quá trình bơm trám, vữa xi măng đã không thể ép ra ngoài vành xuyên và hơn 3.000 m vữa nằm lại trong cột ống chống 7 $\frac{5}{8}$ ". Giếng khoan phải dừng ở độ sâu 4.829 m và không thể khoan đến chiều sâu thiết kế.



Ngày nhận bài: 9/1/2024. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 10 - 16/1/2024.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 16/1/2024.

Hậu quả của trám xi măng không thành công rất tốn kém: cần phải khoan phá bên trong cột ống chống, phải tiến hành trám lại mà thường ít hiệu quả hơn so với trám lần đầu và thêm chi phí, thời gian.

Nguyên nhân của những sự cố trên là trong công tác trám xi măng giếng khoan áp suất cao/nhiệt độ cao tại bể Nam Côn Sơn, việc sử dụng các phụ gia và điều chỉnh các thông số vữa xi măng chưa phù hợp với các điều kiện thực tế của giếng khoan. Áp suất cao/nhiệt độ cao trên đáy giếng đẩy nhanh quá trình thủy hóa, làm biến đổi độ hòa tan của thể rắn trong pha lỏng khiến cho độ nhớt của vữa giảm, do đó thời gian ngưng kết của vữa bị rút ngắn.

Chiều sâu giếng càng lớn, đường kính giếng giảm và độ cao dâng lớn của vữa xi măng ngoài cột ống chống sẽ làm tăng áp suất thủy động trong khoảng không vành xuyên, ảnh hưởng lớn đến vận tốc chuyển động dòng thoát. Vữa xi măng sử dụng để trám giếng thường có hàm lượng nước cao, khi chuyển dịch trong khoảng không vành xuyên, pha lỏng thoát ra xâm nhập vào vùng đá thấm trên thân giếng, điều đó ảnh hưởng đến mức độ và cơ chế bão hòa, làm giảm độ linh động của vữa xi măng, làm cho độ quán, độ ngưng kết không đều.

2. Ảnh hưởng của nhiệt độ cao áp suất cao đến thời gian quán của vữa xi măng

2.1. Tính thời gian quán

Thời gian quán của vữa xi măng là khoảng thời gian tính từ lúc bắt đầu trộn xi măng với nước cho đến thời điểm vữa xi măng đạt trị số 100 Bc (độ quán Bearden) - bằng thời gian vữa xi măng ở trong trạng thái bơm. Đơn vị độ quán Bearden là trị số không thứ nguyên từ 0 - 100 đơn vị.

Thời gian quán là một thông số quan trọng đặc trưng cho tính chất của vữa xi măng. Khi trộn xi măng với nước lập tức sẽ xảy ra phản ứng giữa các thành phần khác nhau, do đó làm tăng độ nhớt của vữa xi măng [5].

Thời gian quán được xác định trong phòng thí nghiệm đối với từng loại xi măng và dùng làm chỉ tiêu so sánh các loại xi măng khác nhau.

Trong quá trình bơm trám giếng khoan, thời gian quán phải lớn hơn thời gian bơm trám xi măng để ngăn ngừa xi măng đông rắn trong đầu trám, cột cần khoan hoặc nằm lại bên trong ống chống. Thời gian quán và độ nhớt của vữa được tối ưu hóa, để vữa xi măng duy trì khả năng bơm ép trong suốt khoảng thời gian vữa xi măng lấp đầy đoạn chiều dài trám và đạt đến chiều cao yêu cầu ngoài cột ống.

Thời gian quán T_Q được xác định bằng biểu thức:

$$T_Q = T_{CM} + T_P + T_V + T_{PL} + T_{DT} \quad (1)$$

Trong đó: T_{CM} , T_P , T_V , T_{PL} , T_{DT} là thời gian tương ứng theo thứ tự với các thao tác khuấy trộn, chuẩn bị, bơm ép, di chuyển nút, và thời gian dự trữ (khoảng 30 phút đến 1 giờ) [6].

Thời gian trộn vữa với nước và phụ gia:

$$T_{CM} = V_{xm} / v_{xm} \quad (2)$$

Trong đó:

V_{xm} : Thể tích xi măng khô (1 bao);

v_{xm} : Vận tốc trộn (bao/phút);

T_P : Thời gian cần thiết cho công tác chuẩn bị khi đo các thông số vữa. Thông thường thời gian này không nhiều nên có thể tính vào thời gian trộn.

Trong khi trộn vữa thì vữa cũng đồng thời được bơm vào cột ống chống; T_V là thời gian để ép dung dịch khoan từ trong ống chống vào khoảng không vành xuyên. Thời gian này phụ thuộc vào thể tích cột ống chống và vận tốc ép và bằng lưu lượng của máy bơm, được tính theo công thức:

$$T_V = V_{dd} / v_v \quad (3)$$

Trong đó:

V_{dd} : Thể tích chất lỏng để ép nút trên;

v_v : Vận tốc ép.

Vì vậy, thể tích của cốc xi măng trong cột ống không tính vào thể tích của vữa xi măng.

Cũng có thể xác định thời gian trám (T_{xm}) xi măng theo công thức:

$$T_{xm} = \frac{1}{60} (V_d / n_1 Q_{IV} + V_{xm} / n_2 Q_{IV} + 0,98 \times V_{cp} / ((n-1) \times Q_{III}) + 0,02 \times (V_{cp} / Q_{III}) + 10 \quad (4)$$

Trong đó:

V_d : Thể tích dung dịch đậm (m^3);

V_{cp} : Thể tích dung dịch bơm ép (m^3);

Q_{IV} : Lưu lượng bơm với vận tốc số IV (dm^3/s);

Q_{III} : Lưu lượng bơm với vận tốc số III (dm^3/s);

n : Số thiết bị bơm trám.

2.2. Xác định thời gian quán của vữa xi măng trong điều kiện áp suất cao nhiệt độ cao

Độ quán và thời gian quán của vữa xi măng được

đo bằng máy đo độ quán Fann 290 HPHT (Hình 1), có áp suất tối đa là 207 MPa và nhiệt độ 204°C. Máy đo độ quán Fann 290 HPHT được sản xuất theo tiêu chuẩn API/ RP-10B và phụ lục kèm theo API RP 10B. Trong thời gian thí nghiệm, các thông số được ghi lại và xử lý theo phần mềm IPRO. Việc điều khiển thiết bị được hiển thị qua màn hình tinh thể lỏng [7].

2.3. Đơn pha chế vữa xi măng

Hiện nay, trong ngành dầu khí chưa có loại xi măng được tiêu chuẩn hóa để trám các giếng khoan trong các điều kiện áp suất cao/nhiệt độ cao. Vì vậy, một số công



Hình 1. Máy đo độ quán Fann 290 HPHT.

ty khoan đã thử nghiệm sử dụng xi măng Portland G-API để trám giếng khoan có nhiệt độ cao, áp suất cao tại bể Nam Côn Sơn. Tuy nhiên, trong điều kiện nhiệt độ cao, các tính chất lý - hóa của xi măng Portland biến đổi rất mạnh, làm thay đổi các tính chất công nghệ của vữa. Vì vậy, biện pháp chủ yếu hiện nay để duy trì và nâng cao chất lượng xi măng là bổ sung silica.

Silica (hay còn gọi là Silicon dioxide), có dạng cấu trúc tinh thể và dạng cấu trúc vô định hình. Silica là phụ gia bền nhiệt có thể liệt kê một số dạng như: cát thạch anh được nghiền đạt cỡ hạt từ 175 - 200 μm ; bột silica (silica flour) có cỡ hạt 200 - 300 mesh; silica siêu mịn (silica fume) - một phụ gia siêu phân tán từ pha khí khi nung hợp kim silic, có hàm lượng cao các silica vô định hình; nanosilica là vật liệu pozzolan hiệu quả cao, có kích thước 1.000 lần bé hơn các hạt xi măng trung bình, các hạt nanosilica thường sử dụng loại cỡ hạt từ 5 - 50 nm và loại thứ hai từ 5 - 30 nm [8].

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các điều kiện thực tế tại bể Nam Côn Sơn, nhóm tác giả đã tiến hành thí nghiệm hệ vữa xi măng trám với phụ gia bền nhiệt silica SSA-1TM. SSA-1TM, là loại bột silica kết tinh, do Halliburton sản xuất. SSA-1TM có khối lượng riêng: 2,6 - 2,63 g/cm³; cỡ hạt 200 - 300 mesh (35%), 100 - 200 mesh (8%) và cỡ hạt lớn hơn 100 (0,2%).

Để nghiên cứu thời gian quán của vữa xi măng trong điều kiện nhiệt độ cao áp suất cao, đơn pha chế vữa đã được lập như trong Bảng 1.

3. Kết quả thí nghiệm thời gian quán

3.1. Kết quả thời gian quán của vữa xi măng

Bảng 2 tổng hợp các kết quả thí nghiệm thời gian độ quán của vữa xi măng trong các điều kiện áp suất và nhiệt độ khác nhau.

Bảng 1. Đơn pha chế vữa xi măng trám giếng khoan nhiệt độ cao, áp suất cao

TT	Thành phần	Đơn vị	Hàm lượng	Công dụng
1	Xi măng Holcim mác G	% khối lượng	100	Xi măng nền
2	Silica-1A	% khối lượng	35	Phụ gia bền nhiệt
3	Hi-Dense 4	% khối lượng	40	Chất làm nặng
4	MicroMax	% khối lượng	25	Chất làm nặng
5	WellLife 987	% khối lượng	7,0	Phụ gia tăng độ bền
6	Microbond-HT	% khối lượng	3,0	Phụ gia giãn nở
7	Halad-413	3,785 dm ³ /bao	0,5	Phụ gia giảm độ thải nước
8	CSR-25	3,785 dm ³ /bao	0,25	Chậm ngưng kết
9	Nước kỹ thuật	3,785 dm ³ /bao	6,5	Nước trộn

Bảng 2. Bảng tổng hợp thời gian quán của vữa xi măng

Mẫu	Mật độ vữa (g/cm ³)	Điều kiện thí nghiệm		Thời gian đạt đến các trị số độ quán (giờ.phút)		
		Nhiệt độ (°C)	Áp suất (Mpa)	50 Bc	70 Bc	100 Bc
A	2,04	125	67	8 giờ 52 phút	8 giờ 52 phút	8 giờ 53 phút
B	2,13	135	70	5 giờ 11 phút	5 giờ 52 phút	5 giờ 58 phút
C	2,13	140	76	6 giờ 20 phút	6 giờ 50 phút	6 giờ 55 phút
D	2,22	150	85	8 giờ 20 phút	8 giờ 40 phút	8 giờ 50 phút
E	2,22	155	89	6 giờ 15 phút	6 giờ 25 phút	6 giờ 35 phút
F	2,10	177	93	10 giờ 5 phút	10 giờ 10 phút	10 giờ 30 phút
G	2,22	177	103,4	10 giờ 25 phút	10 giờ 30 phút	10 giờ 30 phút

3.2. Các biểu đồ thời gian quán của vữa xi măng

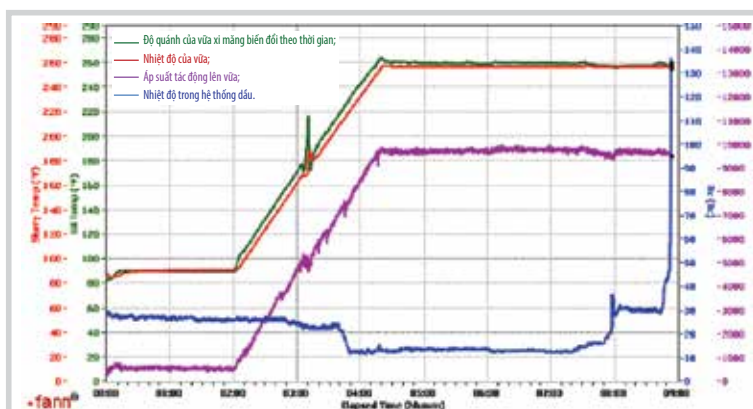
Hình 2 - 8 minh họa thời gian quán của vữa xi măng trong các điều kiện nhiệt độ và áp suất khác nhau.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, ở thời điểm khởi động 0 giờ đến 8 giờ 52 phút đạt 70 Bc, đến 8 giờ 53 phút là thời điểm vữa có độ quán 100 Bc và 8 giờ 53 phút là thời gian quán của vữa.

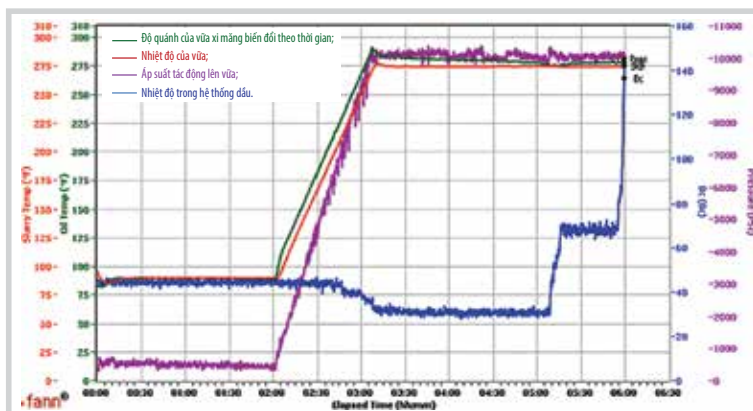
Các kết quả thí nghiệm trên cho thấy nhiệt độ và áp suất tăng lên thì thời gian quán ngắn lại. Còn ở nhiệt độ cao trên 177°C và áp suất trên 93 MPa thì thời gian quán của vữa kéo dài. Từ đó, khi lập đơn pha chế cho các khoảng có nhiệt độ và áp suất có điều kiện tương tự cần phải điều chỉnh các phụ gia chậm ngưng kết theo đồ thị thời gian quán của vữa, cho phép mô hình hóa thời gian quán bằng cách thay đổi hàm lượng chất phụ gia HR-25.

Nhiệt độ và áp suất cao làm rút ngắn thời gian quán của vữa. Bổ sung phụ gia HR-25 là giải pháp chủ yếu và hiệu quả để duy trì và cải thiện các tính chất công nghệ của xi măng: tăng thời gian quán của vữa xi măng đạt trị số 100 Bc trong khoảng 6 - 8 giờ, đảm bảo an toàn trong thời gian bơm ép; làm chậm thời gian ngưng kết của vữa xi măng; ngăn ngừa sự suy thoái độ bền của xi măng và nâng cao các tính chất cơ học của vành đá xi măng ở nhiệt độ trên đáy giếng khoan (140 - 180°C).

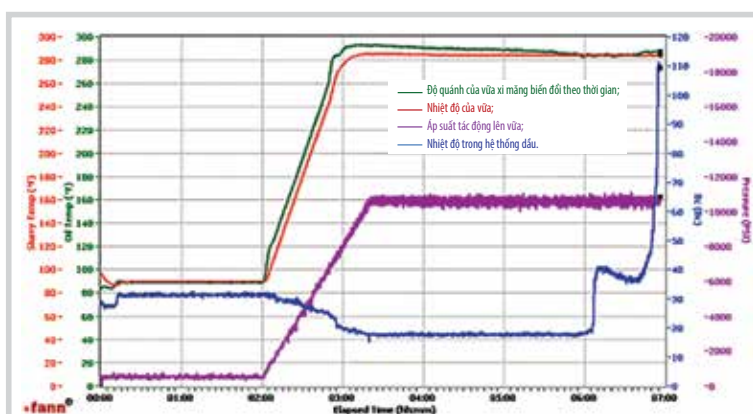
Các kết quả thí nghiệm đơn pha chế vữa xi măng trong các điều kiện áp suất và nhiệt độ khác nhau và được minh họa trên các biểu đồ thời gian quán cho thấy rằng:



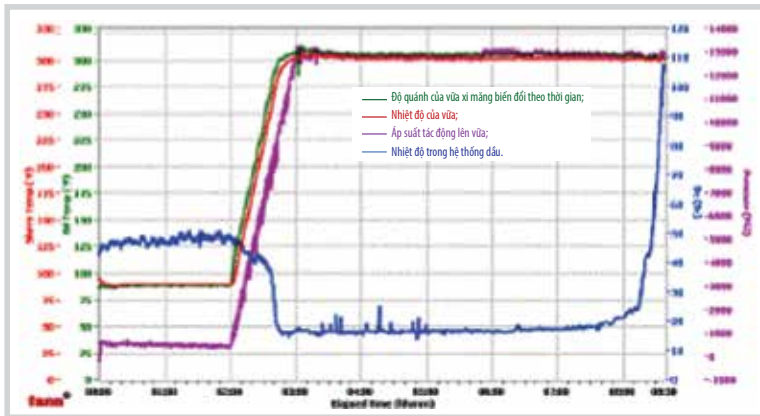
Hình 2. Thời gian quán của vữa xi măng có mật độ 2,04 g/cm³ ở nhiệt độ 125°C, áp suất 67 MPa (mẫu A).



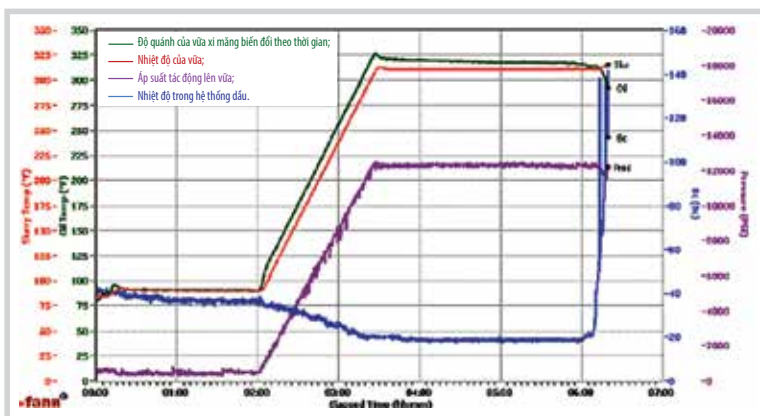
Hình 3. Thời gian quán của vữa xi măng có mật độ 2,13 g/cm³ ở nhiệt độ 135°C và áp suất 70 MPa (mẫu B).



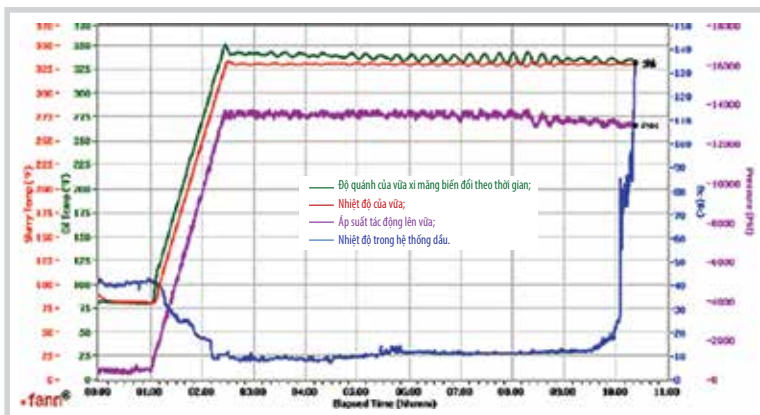
Hình 4. Thời gian quán của vữa xi măng có mật độ 2,13 g/cm³ ở nhiệt độ 140°C và áp suất 76 MPa (mẫu C).



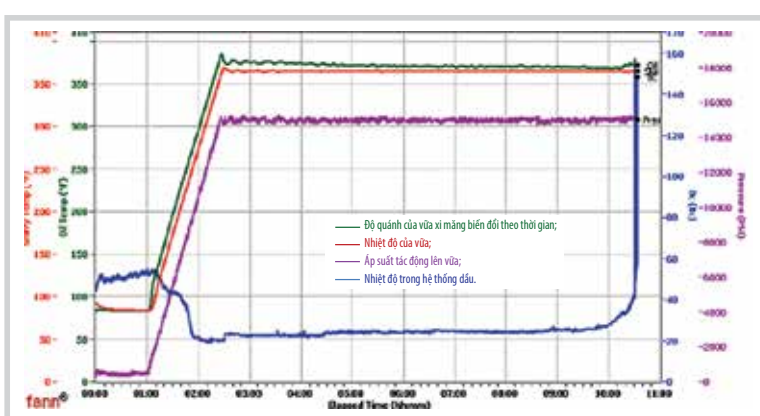
Hình 5. Thời gian quánh của vữa xi măng có mật độ 2,22 g/cm³ ở nhiệt độ 150°C và áp suất 89 MPa (mẫu D).



Hình 6. Thời gian quánh của vữa xi măng có mật độ 2,22 g/cm³ ở nhiệt độ 55°C và áp suất 85 MPa (mẫu E).



Hình 7. Thời gian quánh của vữa xi măng có mật độ 2,10 g/cm³ ở nhiệt độ 177°C và áp suất 93 MPa (mẫu F).



Hình 8. Thời gian quánh của vữa xi măng có mật độ 2,04 g/cm³ ở nhiệt độ 177°C và áp suất 103 MPa (mẫu G).

Hệ xi măng được bổ sung 35% khối lượng silica SSA-1™ cho phép chống suy giảm độ nhớt, duy trì thời gian quánh đáp ứng yêu cầu cho công đoạn bơm ép.

Sử dụng phụ gia HR-25 với hàm lượng 2,5% là hợp lý để điều chỉnh thời gian xi măng đóng rắn, duy trì vữa xi măng trong trạng thái lỏng và linh động trong thời gian bơm ép vữa. HR-25 có tính hòa tan trong nước tốt, dễ dàng phân tán đều trong vữa, ít ảnh hưởng đến độ bền nén của đá. HR-25 là phụ gia thân thiện với môi trường.

4. Kết luận

- Thời gian quánh là thông số quan trọng của vữa xi măng trám giếng khoan, ảnh hưởng đến chất lượng, hiệu quả kinh tế quá trình thi công giếng khoan trong điều kiện áp suất cao, nhiệt độ cao.

- Bổ sung 35% khối lượng silica SSA-1™ là hàm lượng tối ưu để đạt được độ quánh 100 Bc, bảo đảm đủ thời gian và an toàn trong giai đoạn bơm ép vữa xi măng vào khoảng không vành xuyên trong giếng khoan, loại trừ khả năng đông kết sớm...

- Trong điều kiện nhiệt độ ở bể Nam Côn Sơn, sử dụng phụ gia chậm ngưng kết HR-25 với hàm lượng 2,5% là phù hợp để điều chỉnh thời gian xi măng đóng rắn, duy trì vữa xi măng trong trạng thái nhớt và linh động trong thời gian bơm ép vữa. HR-25 có tính hòa tan trong nước tốt, dễ dàng phân tán đều trong vữa, ít ảnh hưởng đến độ bền nén của đá. HR-25 là phụ gia thân thiện với môi trường.

- Kết hợp với các kinh nghiệm trám xi măng giếng khoan trong điều kiện áp suất cao, nhiệt độ cao, đơn pha chế trên là hợp lý và làm cơ sở cho việc thiết kế các đơn pha chế vữa trám cho các giếng khoan có áp suất cao nhiệt độ cao tại bể Nam Côn Sơn.

Tài liệu tham khảo

[1] Phạm Trường Giang, Lê Vũ Quân, Nguyễn Minh Quý, Lê Thị Thu Hương, Đỗ Văn Hiến, và Trương Hoài Nam, "Tổng kết và đánh giá công tác bơm trám xi măng cho các giếng

khoan có nhiệt độ và áp suất cao tại bể Nam Côn Sơn”, *Tạp chí Dầu khí*, Số 7, trang 21 - 29, 2014.

[2] Trần Hồng Nam, Lê Trần Minh Trí, Nguyễn Kiên Cường, Trịnh Ngọc Bảo, và Mike Nguyễn, “Thiết kế giếng phát triển mỏ áp suất cao và nhiệt độ cao - Những điều cần lưu ý”, *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ quốc tế - Dầu khí Việt Nam 2010: Tăng tốc phát triển*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Quyển I, trang 620 - 633, 2010.

[3] Arash Shadravan and Mahmood Aman, “HPHT 101: What every engineer or geoscientist should know about high pressure high temperature wells”, *SPE Kuwait International Petroleum Conference and Exhibition, Kuwait City, Kuwait, 10 - 12 December 2012*. DOI: 10.2118/163376-MS.

[4] Keelan Adamson, George Birch, Erhu Gao, Steve Hand, Colin Macdonald, David Mack, and Anver Quaclri

“High-pressure, high-temperature well construction”, *Oilfield Review*, 1998.

[5] Prisca Salima and Mahmood Amani, “Special considerations in cementing high pressure high temperature wells”, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Volume 1, Issue 4, pp. 120 - 143, 2013.

[6] H. Rabia, *Oilwell drilling engineering: Principles and practice*. Graham & Trotman, 1986.

[7] Ofite, “Испытания тампонажных цементов в соответствии со стандартами API/ISO: аппаратная реализация методов”. [Online]. Available: <http://www.ofite.ru/node/258>.

[8] S.R. Shadizadeh, M. Kholghi, and M.H. Salehi Kassaei, “Experimental investigation of silica fume as a cement extender for liner cementing in Iranian oil/gas wells”, *Iranian Journal of Chemical Engineering*, Volume 7, Issue 1, 2010.

EFFECTS OF HIGH PRESSURE AND HIGH TEMPERATURE ON THICKENING TIME OF CEMENT SLURRY IN THE CEMENTING PROCESS AT NAM CON SON BASIN

Truong Hoai Nam

Vietnam Oil and Gas Group

Email: namth@pvn.vn

Summary

Thickening time is an important parameter that affects the well cementing process - a decisive step in the quality and efficiency of well operation. During the pumping process, the thickening time of the slurry needs to be greater than the pumping time. Otherwise, problems will occur due to cement curing prematurely before technological processes are implemented, easily leading to complications and incidents, causing waste of materials and costs, and prolonging construction time. Currently, to construct the oil and gas wells, G-grade Portland cement - a popular type of cement for deep well constructions - is normally used. However, under high pressure and high temperature conditions in the Nam Con Son basin, it is necessary to add silica heat-stable additives to ensure the thickening time of the cement slurry is consistent with the conditions of the well.

Key words: High pressure, high temperature, cement slurry, thickening time, Nam Con Son basin.