ĐIỀU CHỈNH TỶ TRỌNG VỮA XI MĂNG VÀ SỬ DỤNG VỮA XI MĂNG NẶNG ĐỂ BƠM TRÁM CÁC GIẾNG KHOAN Ở BỂ NAM CÔN SƠN

TS. Nguyễn Hữu Chinh[1], TS. Trương Hoài Nam[2]
KS. Lê Vũ Quân[3]
[1]Liên doanh Việt - Nga "Vietsovpetro"
[2]Tập đoàn Dầu khí Việt Nam
[3]Viện Dầu khí Việt Nam
Email: chinhnh.rd@vietsov.com.vn

Tóm tắt

Vữa xi măng nặng được dùng khá phổ biến để bơm trám các giếng khoan trong điều kiện áp suất vỉa cao. Bài báo giới thiệu nguyên lý điều chỉnh tỷ trọng của vữa xi măng để bơm trám các giếng khoan dầu khí bằng cách thay đổi lượng nước hoặc bổ sung phụ gia làm nặng vữa xi măng; đồng thời trình bày kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của việc làm nặng vữa xi măng đến độ bền uốn - một trong những thông số cơ bản của tính chất cơ lý đặc trưng cho khả năng làm việc của đá xi măng trong giếng khoan. Từ kết quả nghiên cứu lý thuyết và trên cơ sở phân tích điều kiện địa chất thực tế, nhóm tác giả đã đưa ra các đề xuất giúp nâng cao hiệu quả sử dụng vữa xi măng nặng để bơm trám các giếng khoan ở bể Nam Côn Sơn

Từ khóa: *Vữa xi măng nặng, điều chỉnh tỷ trọng vữa trám, phụ gia làm nặng.*

1. Mở đầu

Vữa xi măng dùng để bơm trám các giếng khoan cần phải có tỷ trọng (trọng lượng riêng hay khối lượng riêng) hợp lý để cùng với dung dịch khoan và các chất lỏng khác trong giếng tạo cột áp suất thủy tĩnh, giúp cân bằng áp suất vỉa (tránh phun trào) và thấp hơn áp suất vỡ vỉa (tránh xảy ra hiện tượng mất dung dịch). Do đó, cần điều chỉnh tỷ trọng vữa xi măng trong điều kiện áp suất vỉa, vỡ vỉa dọc theo thân giếng khoan luôn thay đổi và khác nhau.

Xi măng nặng (hoặc vữa xi măng nặng) thường dùng để bơm trám các giếng khoan có điều kiện áp suất (hoặc gradient áp suất) vỉa cao. Bảng 1 trình bày cách phân biệt các loại vữa xi măng (tương đối) theo đặc điểm của phụ gia, cách điều chế hoặc tỷ trọng của vữa xi măng.

Để phân biệt vữa xi măng nặng hay nhẹ cần lấy vữa tiêu chuẩn làm cơ sở. Vữa xi măng nguyên (hay vữa xi măng thường) không sử dụng phụ gia, có tỷ trọng tương đương hay gần nhất với tiêu chuẩn. Khi đó, các loại vữa xi măng có tỷ trọng lớn hơn vữa tiêu chuẩn (hay vữa xi măng thường, vữa xi măng nguyên) có thể coi là vữa xi măng nặng. Ngược lại, vữa xi măng có tỷ trọng nhỏ hơn vữa tiêu chuẩn sẽ được coi là vữa xi măng nhẹ.

Hiện nay có 2 bộ tiêu chuẩn về xi măng trám giếng khoan được sử dụng phổ biến trên thế giới là tiêu chuẩn API (Viện Dầu khí Mỹ) và GOST (Liên bang Nga). Tỷ trọng vữa xi măng chuẩn là 1,90 cho xi măng loại G (tiêu chuẩn API) và 1,83 cho xi măng loại PCG (tiêu chuẩn GOST). Có thể lấy các giá trị này (hoặc khoảng dao động quanh các giá trị này) là cơ sở xác định vữa xi măng tỷ trọng thường, từ đó xác định vữa xi măng nặng hay nhẹ.

Vữa xi măng thường có thể sử dụng an toàn khi trám các giếng khoan có áp suất vỉa cao dị thường (cần dùng

Bảng 1. *Các loại vữa xi măng theo đặc điểm của phụ gia, cách điều chế hoặc tỷ trọng của vữa*

TT	Halliburton [1]		Schlumberger [2]		Liên bang Nga [3]	
	Tên gọi	Tỷ trọng	Tên gọi	Tỷ trọng	Tên gọi	Tỷ trọng
1	Tiêu chuẩn API (loại G, tỷ lệ nước/xi măng = 0,44)	1,90	Tiêu chuẩn API (loại G, tỷ lệ nước/xi măng = 0,44)	1,90	Tiêu chuẩn GOST (loại PCG, tỷ lệ nước/xi măng = 0,50)	1,83
2	-	-	Vữa xi măng rất nặng	2,40 - 3,00	-	-
3	Vữa xi măng + vật liệu nặng	1,92 - 2,52	Vữa xi măng nặng	2,10 - 2,40	Vữa xi măng rất nặng	> 2,20
4	Vữa xi măng đặc	1,92 - 2,04	Vữa xi măng đặc	1,96 - 2,10	Vữa xi măng nặng	1,95 - 2,20
5	Vữa xi măng nguyên	1,80 - 1,92	Vữa xi măng nguyên	1,78 - 1,96	Vữa xi măng thường	1,75 - 1,95
6	Vữa xi măng - puzolan	1,56 - 1,80	Vữa xi măng nhẹ thông dụng	1,38 - 1,78	Vữa xi măng nhẹ	1,30 - 1,75
7	Vữa xi măng + sét	1,44 - 1,80	Vữa xi măng siêu nhẹ	0,84 - 1,38	Vữa xi măng rất nhẹ	< 1,30
8	Vữa xi măng + vi cầu	0,96 - 1,56	-	-	-	-
9	Vữa xi măng + nitơ	0,72 - 1,56	-	-	-	-

dung dịch nặng để khoan) với hệ số dị thường áp suất vỉa nhỏ hơn giá trị tỷ trọng của vữa xi măng tiêu chuẩn. Đối với điều kiện áp suất vỉa bình thường, cần dùng các hệ vữa xi măng nhẹ vì khi đó hệ số áp suất vỡ vỉa chỉ bằng hoặc nhỏ hơn giá trị tỷ trọng vữa xi măng tiêu chuẩn. Điều này lý giải vì sao vữa xi măng thường không được sử dụng nhiều cho bơm trám giếng khoan. Theo nghiên cứu [4], vữa xi măng thường chỉ chiếm khoảng dưới 15%, còn lại là vữa xi măng khác tiêu chuẩn (nặng hoặc nhẹ hơn).

Vữa xi măng nặng được dùng trong các điều kiện áp suất vỉa cao hoặc rất cao với hệ số dị thường áp suất vỉa lớn hơn giá trị tỷ trọng vữa xi măng tiêu chuẩn. Vữa xi măng nặng thường có tỷ trọng từ 2,0 trở lên.

2. Sử dụng vữa xi măng nặng để bơm trám các giếng khoan ở bể Nam Côn Sơn

2.1. Nguyên lý điều chỉnh tỷ trọng vữa xi măng

Thành phần chính tạo nên vữa xi măng là bột xi măng (pha rắn) và nước (pha lỏng). Tỷ trọng vữa xi măng được tính theo công thức sau:

$$\gamma_{vxm} = \frac{(1+m) \times \gamma_{xm} \times \gamma_n}{m \times \gamma_{xm} + \gamma_n} \quad (1)$$

Trong đó:

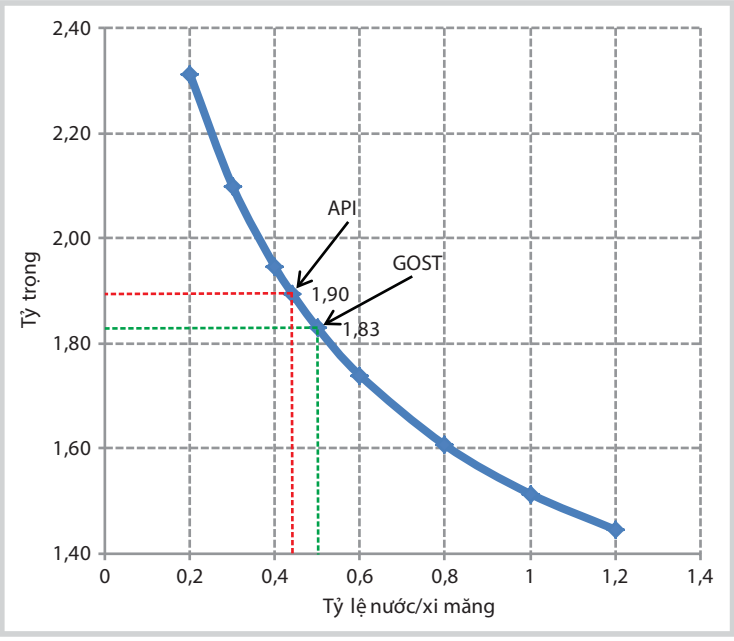
γ_{vxm} : Tỷ trọng vữa xi măng;

m: Tỷ lệ nước/xi măng;

γ_{xm}: Tỷ trọng của xi măng;

γ_n: Tỷ trọng của nước trộn xi măng (γ_n = 1,0).

Do có sự chênh lệch đáng kể về tỷ trọng của nước và xi măng (tỷ trọng nước = 1,0 và tỷ trọng bột xi măng = 3,15) nên tỷ trọng của vữa xi măng phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ nước/xi măng (Hình 1). Việc điều chỉnh tỷ trọng vữa xi măng bằng cách thay đổi tỷ lệ nước/xi măng được sử dụng hiệu quả nhất trong bơm trám giếng khoan.



Hình 1. *Sự phụ thuộc của tỷ trọng vữa xi măng theo tỷ lệ nước/xi măng*

Về lý thuyết, theo công thức (1) và Hình 1, khi thay đổi tỷ lệ nước/xi măng từ 1,2 - 0,2 thì tỷ trọng của vữa xi măng tương ứng đạt từ 1,45 - 2,31. Tuy nhiên trong thực tế, vữa xi măng sẽ bị tách pha (lắng) rất mạnh khi lượng nước cao và vữa sẽ rất đặc khi lượng nước thấp. Vì vậy, đồng thời với việc tăng tỷ lệ nước/xi măng để giảm tỷ trọng vữa xi măng cần bổ sung các phụ gia (hóa chất) để ngăn ngừa sự lắng của pha rắn. Các chất này có tên gọi chung là chất trương (extender) có khả năng hấp thụ nhiều nước. Khi giảm tỷ lệ nước/xi măng để tăng tỷ trọng vữa xi măng cần bổ sung các chất phân tán (dispersant) giúp làm loãng vữa xi măng để độ linh động đạt yêu cầu bơm trám.

Khi sử dụng phụ gia, tỷ trọng của vữa xi măng sẽ phụ thuộc vào hàm lượng và tỷ trọng của 3 thành phần nước, bột xi măng và phụ gia. Trong trường hợp này vẫn có thể sử dụng công thức (1) để tính toán tỷ trọng của vữa xi măng. Khi đó m sẽ là tỷ lệ nước/hỗn hợp các pha rắn, tỷ trọng của xi măng sẽ thay bằng tỷ trọng của hỗn hợp các pha rắn (xi măng và phụ gia).

Trên thực tế có thể sử dụng riêng hoặc kết hợp 2 nguyên tắc trên để điều chỉnh tỷ trọng của vữa xi măng.

2.2. Phụ gia làm nặng vữa xi măng

Giảm lượng nước sẽ giúp tăng tỷ trọng của vữa xi măng, giúp tăng cường độ chịu lực và các tính chất cơ lý của đá xi măng, song cũng sẽ làm tăng tính chất lưu biến, khiến vữa xi măng đặc và khó bơm. Thực tế cho thấy khi giảm lượng nước, tỷ trọng vữa xi măng cao (vẫn giữ được độ linh động để bơm được) có thể đạt 1,97 (tương đương khối lượng riêng 16,5ppg) cho xi măng loại G và 1,92 (tương đương khối lượng riêng 16ppg) cho xi măng loại PCG. Nếu sử dụng chất phân tán tốt thì tỷ trọng của vữa xi măng có thể đạt giá trị cao hơn.

2.2.1. Yêu cầu đối với phụ gia làm nặng vữa xi măng

Khi cần tăng tỷ trọng vữa xi măng, cần bổ sung các phụ gia có ảnh hưởng đến hiệu quả làm nặng vữa trám:

Bảng 2. *Một số phụ gia nặng dùng cho vữa xi măng*

Phụ gia nặng	Tỷ trọng	Độ cần nước		Ghi chú
		m^3/tấn	gallon/lb	
Hematite	4,95	0,017	0,0020	[2, 5]
Barite	4,33	0,200	0,0240	[2]
Magnetite	4,52	0,006	0,0007	[5]
Manganese tetraoxide	4,84	0,009	0,0011	[2]
Ilmenite	4,45	0,00	0,00	[2]

- Tỷ trọng của phụ gia: Phụ gia càng nặng thì hiệu quả làm nặng càng cao, thường có tỷ trọng lớn hơn tỷ trọng của xi măng.

- Kích thước hạt (độ mịn) của phụ gia nặng: Phụ gia nặng có hạt thô sẽ giúp làm nặng vữa xi măng hiệu quả hơn, song sẽ dễ lắng và tách khỏi vữa xi măng. Hạt nhỏ sẽ làm tăng độ nhớt, giảm độ linh động của vữa xi măng và cần nước nhiều hơn. Vì vậy khi lựa chọn hoặc chế tạo phụ gia nặng thì cần chú ý đến thông số kích thước hạt.

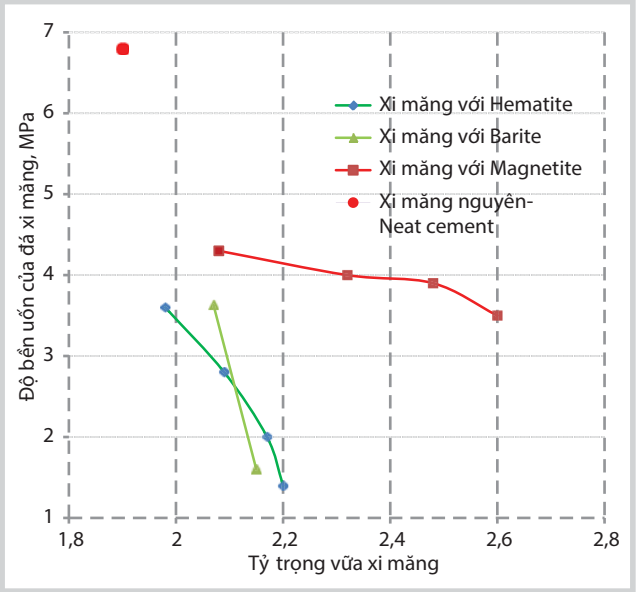
- Độ cần nước (lượng nước cần để thấm ướt một đơn vị bề mặt các hạt - phụ thuộc vào bản chất vật liệu) của phụ gia nặng (Bảng 2): Phụ gia nặng có độ cần nước thấp sẽ cho hiệu quả làm nặng vữa xi măng cao hơn.

Ilmenite ($FeO.TiO_2$) có tỷ trọng 4,45, ít ảnh hưởng đến thời gian quánh và sự phát triển độ bền của xi măng. Hiện nay, ilmenite được cung cấp trên thị trường với hạt thô màu đen, độ cần nước rất thấp, gần như không cần lượng nước bổ sung để thấm ướt bề mặt hạt. Do đó, vữa xi măng sử dụng ilmenite có tỷ trọng cao trên 2,40.

Hematite (Fe_2O_3) với tỷ trọng 4,95 có dạng hạt tinh thể màu đỏ với độ hạt mịn. Do đó, khi sử dụng phụ gia hematite với hàm lượng cao cần phải bổ sung chất phân tán (làm loãng) cho vữa xi măng. Vữa xi măng sử dụng hematite có thể đạt được tỷ trọng trên 2,28.

Barite ($BaSO_4$) có dạng bột mịn, màu trắng, độ cần nước rất cao, do đó sẽ làm giảm đáng kể độ bền của đá xi măng. Tuy vậy, có thể sử dụng barite để điều chế vữa xi măng với tỷ trọng đạt tới 2,28.

Manganese tetraoxide (Mn_3O_4) có dạng bột màu nâu đỏ, tỷ trọng 4,84. Sản phẩm này được cung cấp ở cả thể rắn và lỏng. Dạng lỏng rất thuận tiện cho điều kiện khoan biển. Kích thước hạt rất mịn (trung bình khoảng 5µm) nên diện tích bề mặt lớn nhất trong số các loại phụ gia nặng và mức độ lắng cũng thấp hơn nhiều so với hematite. Manganese tetraoxide có thể pha trực tiếp vào nước để trộn xi măng. Tỷ trọng của vữa xi măng có thể đạt 2,64 khi dùng manganese tetraoxide kết hợp với hematite.



Hình 2. *Độ bền uốn của đá xi măng với một số phụ gia làm nặng ở điều kiện: nhiệt độ 90°C, áp suất môi trường, 2 ngày, xi măng loại PCG*

Magnetite (Fe_3O_4) có tỷ trọng 4,52, màu đen, kích thước hạt lớn nhất đến 0,30mm. Đây là phụ gia có hiệu quả làm nặng cao hơn hematite và ít ảnh hưởng xấu đến chất lượng đá xi măng nhất (Hình 2). Magnetite được dùng ở Nga và các nước thuộc Liên Xô trước đây.

2.2.2. Ảnh hưởng của phụ gia nặng đến tính chất cơ lý của đá xi măng

Để có được vữa xi măng càng nặng thì cần càng nhiều (về khối lượng) phụ gia, làm giảm hàm lượng xi măng (là chất kết dính), dẫn đến cường độ chịu lực (độ bền) của đá xi măng sẽ giảm. Hình 2 thể hiện sự phụ thuộc của độ bền uốn một số loại đá xi măng theo tỷ trọng với phụ gia nặng. Cùng điều kiện (nhiệt độ 90°C, áp suất môi trường, 2 ngày, xi măng loại PCG), độ bền uốn của đá xi măng nặng giảm đi nhiều lần so với xi măng nguyên.

Việc làm nặng vữa xi măng bằng phương pháp giảm lượng nước có lợi hơn so với việc sử dụng phụ gia khi đứng trên quan điểm bảo toàn độ bền (tính chất cơ lý) của đá xi măng tạo thành.

2.3. Sử dụng vữa xi măng nặng ở bể Nam Côn Sơn

Kết quả khoan ở bể Nam Côn Sơn đã làm rõ hơn bức tranh về địa tầng, thành phần trầm tích, ranh giới của các hệ tầng, chiều dày của chúng và đặc biệt sự phân bố và giá trị áp suất vỉa, vỡ vỉa theo chiều sâu giếng khoan ở các lô. Bảng 3 thống kê sự phân bố áp suất vỉa cao điển hình ở một số lô thuộc bể Nam Côn Sơn [6].

Ở bể Nam Côn Sơn, phức tạp địa chất tại các giếng khoan có dị thường áp suất cao rất lớn, đặc biệt là cửa sổ áp suất giữa áp lực vỉa và áp lực vỡ vỉa nhỏ. Điều này gây khó khăn cho việc thiết kế, lựa chọn vữa xi măng có tỷ trọng thích hợp, vừa đảm bảo lớn hơn áp suất vỉa nhưng vẫn không gây vỡ vỉa, tránh hiện tượng mất dung dịch khoan và nhiễm bẩn thành hệ. Thực tế trám xi măng đối với các giếng khoan có áp suất cao cho thấy tỷ trọng vữa xi măng thường lớn 1,92 (tương đương khối lượng riêng 16ppg), do đó đã sử dụng các chất phụ gia nhằm tăng tỷ trọng. Các nhà thầu bơm trám xi măng hiện nay chủ yếu sử dụng barite để tăng tỷ trọng vữa xi măng [6]. Loại hóa phẩm này có tỷ trọng 4,33 nên theo lý thuyết có thể áp dụng để điều chế vữa xi măng có tỷ trọng tới 2,28. Tuy nhiên, barite có độ cần nước rất cao, sẽ làm giảm đáng kể độ bền của đá xi măng. Để tăng tỷ trọng vữa xi măng và độ bền của đá xi măng, có thể xem xét khả năng sử dụng hematite và đặc biệt là manganese tetraoxide hoặc ilmenite do độ cần nước thấp và hiệu quả làm nặng của các phụ gia này cao hơn. Trong quá trình sử dụng phụ gia tăng cần lưu ý việc dùng với hàm lượng lớn có thể gây ra hiện tượng lắng đọng của vật liệu và giảm độ bền của đá xi măng cũng như các tính chất cơ lý và tính chất cách ly của đá xi măng.

Bảng 3 cho thấy hợp lý nhất là sử dụng vữa xi măng tỷ trọng tiêu chuẩn (API) cho các giếng A-1X, C-2X, U-2X, U-3X và T-1RX. Giếng T-1X và H-2X nên dùng vữa xi măng làm nặng bằng cách giảm tỷ lệ nước. Các giếng S-1X, H-1X cần dùng vữa xi măng làm nặng bằng phụ gia.

Bảng 3. *Áp suất vỉa các giếng khoan ở Lô 04, 05 bể Nam Côn Sơn*

Giếng khoan	Chiều sâu (m)	Áp suất vỉa (MPa)	Hệ số dị thường của áp suất vỉa	Hệ số cao nhất
A-1X	2.246	36,17	1,61	1,62
	2.257	35,97	1,59	
	2.342	38,00	1,62	
C-2X	2.406	37,93	1,58	1,63
	2.434	39,61	1,63	
	2.478	40,04	1,62	
	2.599	34,01	1,31	
U-2X	2.991	44,84	1,50	1,50
	3.025	44,88	1,48	
	3.055	45,53	1,49	
	3.110	41,82	1,34	
	3.134	42,94	1,37	
	3.134	41,18	1,31	
U-3X	3.526	50,36	1,43	1,43
	3.586	50,36	1,40	
T-1X	2.220	34,73	1,56	1,91
	3.658	60,24	1,65	
	2.640	39,42	1,49	
	2.736	43,48	1,59	
	2.795	45,22	1,62	
	2.832	47,45	1,68	
	2.906	49,39	1,70	
	2.950	51,27	1,74	
	2.951	53,69	1,82	
	2.966	55,24	1,86	
	3.003	56,79	1,89	
	3.069	58,49	1,91	
S-1X	3.216	61,92	1,93	2,00
	3.261	63,71	1,95	
	3.430	67,36	1,96	
	3.533	69,73	1,97	
	3.673	72,85	1,98	
	3.880	77,14	1,99	
	3.897	78,11	2,00	
H-1X	3.060	62,54	2,04	2,04
	3.148	62,90	2,00	
	3.160	62,94	1,99	
	3.174	63,02	1,99	
	3.208	63,11	1,97	
	3.240	63,27	1,95	
	3.258	63,33	1,94	
	3.555	58,23	1,64	
	3.585	59,47	1,66	
	3.635	70,88	1,95	
	3.740	73,64	1,97	
	3.840	75,84	1,98	
	4.000	79,98	2,00	
	4.120	81,84	1,99	
H-2X	2.956	53,41	1,81	1,94
	2.972	53,44	1,80	
	2.977	53,47	1,80	
	2.980	53,61	1,80	
	2.985	53,63	1,80	
	3.240	62,80	1,94	
	3.260	62,76	1,93	

3. Kết luận

Vữa xi măng nặng có tỷ trọng lớn hơn tiêu chuẩn quy định. Cần điều chỉnh tỷ trọng vữa xi măng hợp lý để tăng độ bền của đá xi măng, nâng cao hiệu quả bơm trám giếng khoan dầu khí.

Sử dụng phụ gia nặng thường làm giảm nhanh tính chất cơ lý của đá xi măng. Do đó, đối với các giếng khoan qua địa tầng áp suất vỉa cao dị thường cần tăng tỷ trọng vữa xi măng bằng cách giảm tỷ lệ nước trước khi sử dụng phụ gia.

Ở bể Nam Côn Sơn, nên lựa chọn phụ gia với hiệu quả làm nặng cao và chỉ nên dùng phụ gia nặng khi áp suất vỉa có hệ số dị thường lớn hơn 2.

Bảng 3. Áp suất vỉa các giếng khoan ở Lô 04, 05 bể Nam Côn Sơn (tiếp)

Giếng khoan	Chiều sâu (m)	Áp suất vỉa (MPa)	Hệ số dị thường của áp suất vỉa	Hệ số cao nhất
T-1RX	2.762	49,28	1,78	1,78
	2.820	49,46	1,75	
	2.835	49,50	1,75	
	2.852	49,57	1,74	
	3.070	53,78	1,75	
	3.120	54,61	1,75	

Tài liệu tham khảo

1. Dwight K.Smith. *Cementing*. Society of Petroleum. 1990.

2. Erick B.Nelson. *Well cementing*. Elsevier Science. 1990.

3. Булатов А.И. *Справочник по креплению нефтяных и газовых скважин*. Москва. 1977.

4. Nguyễn Hữu Chinh. *Những vấn đề về sử dụng xi măng bơm trám trong gia cố và kết thúc các giếng khoan dầu khí*. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học Công nghệ Quốc tế "Dầu khí Việt Nam 2010: Tăng tốc và phát triển". Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. 2010; 1: trang 837 - 848.

5. В.С.Данюшевский, И.Ф.Тольстых, В.М.Мильштейн. *Справочное руководство по тампонажным материалам*. Москва. 1973.

6. Viện Dầu khí Việt Nam. *Tổng kết đánh giá công tác bơm trám xi măng cho các giếng khoan có nhiệt độ và áp suất cao ở bể Nam Côn Sơn*. 2013.

Weighted cement slurry and their use for oil and gas well cementing in Nam Con Son basin

Nguyen Huu Chinh[1], Truong Hoai Nam[2]
Le Vu Quan[3]
[1]Vietsovpetro
[2]Vietnam Oil and Gas Group
[3]Vietnam Petroleum Institute
Email: chinhnh.rd@vietsov.com.vn

Summary

Heavy cement slurry is commonly used for well cementing in high pressure reservoir conditions. The paper presents the theoretical basis for adjustment of the density of cement slurry for oil and gas well cementing by changing the water content or using additives to increase slurry density. It also reports the results of experimental work on the effect of heavy slurry on flexural strength - one of the basic parameters of physical properties, which characterise the working ability of cement stone in the wells. From the results of theoretical research and analysis of the actual geological conditions, the authors made recommendations for improvement of the efficiency of heavy cement slurry used for cementing wells in the Nam Con Son basin.

Key words: *Heavy cement slurry, cement slurry density adjustment, heavyweight additives.*