

XÁC ĐỊNH NGUỒN GỐC VÀ CƠ CHẾ XÂM NHẬP NƯỚC KHAI THÁC TỪ VĨA MÓNG NÚT NẸ MỎ THĂNG LONG BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ

Lê Minh Vũ, Trần Thái Sơn, Vũ Việt Hưng
Công ty Liên doanh Điều hành chung Lam Sơn
Email: vulm@lsjoc.com.vn

Tóm tắt

Trong quá trình khai thác dầu khí, nước thu hồi được phân tích liên tục để theo dõi động thái vỉa, nước xâm nhập, từ đó điều chỉnh chế độ khai thác tối ưu và có các phương án để xử lý tình trạng lắng đọng muối, ăn mòn... Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng phương pháp đồ thị Stiff [1] để đánh giá nước thu hồi và đồ thị K.S.Chan [2] để theo dõi động thái vỉa, nước vỉa xâm nhập tại các giếng khai thác của mỏ Thăng Long. Phương pháp này đơn giản, tiết kiệm thời gian, giúp nhà điều hành dễ dàng theo dõi các chỉ số phân tích nước và hàm lượng nước theo thời gian, xác định cơ chế nước xâm nhập và điều chỉnh chế độ khai thác phù hợp với từng giếng.

Từ khóa: Phân tích nước, cơ chế nước xâm nhập, khai thác nước vượt mức, vỉa móng nứt nẻ, phương pháp đồ thị.

1. Giới thiệu

Nước vỉa có thể xuất hiện ngay từ giai đoạn đầu thử vỉa hoặc sau một thời gian khai thác. Việc tính toán chính xác các chỉ số nước giúp nhà điều hành xác định sớm nước thu hồi là nước vỉa hay nước kỹ thuật, từ đó có các phương án để xử lý tình trạng lắng đọng muối, ăn mòn. Trong giai đoạn khai thác, nước thu hồi được phân tích liên tục để theo dõi động thái vỉa, nước xâm nhập, từ đó điều chỉnh chế độ khai thác tối ưu.

Nghiên cứu sử dụng phương pháp đồ thị Stiff [1] để đánh giá nước thu hồi và đồ thị K.S.Chan [2] để theo dõi động thái vỉa, nước vỉa xâm nhập. Đây là phương pháp đơn giản, cho kết quả sớm để nhà điều hành có phương án xử lý kịp thời. Tuy nhiên, phương pháp đồ thị đòi hỏi nhiều chỉ số hơn nên có thể làm tăng chi phí phân tích trong phòng thí nghiệm.

Phương pháp đồ thị Stiff và K.S.Chan đã được ứng dụng tại mỏ Thăng Long, bể Cửu Long vì các giếng phát triển trong mỏ này nước xuất hiện rất sớm. Bằng phương pháp đồ thị đã sớm xác định được nước thu hồi là nước vỉa. Dựa trên sự biến đổi đồ thị, nhà điều hành xác định được các chỉ số phân tích nước và hàm lượng nước theo thời gian, cơ chế nước xâm nhập, từ đó điều chỉnh chế độ khai thác phù hợp với từng giếng.

2. Các phương pháp đồ thị phân tích nước khai thác và xác định cơ chế nước xâm nhập

Các phương pháp đồ thị hiện nay được xây dựng dựa trên hệ số chuyển đổi tương đương. Hệ số này là lượng anion hoặc cation cần thiết để thêm vào hoặc lấy

ra 1 mole từ hợp chất. Công thức của hệ số chuyển đổi tương đương như sau:

$$C \text{ (meq/l)} = [g.m^{-3}] \times \text{Change/Mass} = [g.m^{-3}]/\text{equivalent wt}$$

Trong đó:

C: Hệ số chuyển đổi tương đương;

Change: Hóa trị;

Mass: Khối lượng mole;

Equivalent wt: Khối lượng chuyển đổi tương đương;

Bảng 1 thể hiện hệ số chuyển đổi tương đương cho một số ion phổ biến [1].

2.1. Đồ thị Stiff

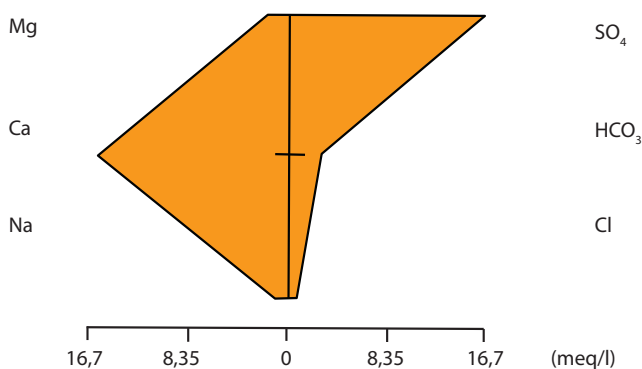
Đồ thị Stiff là phương pháp phân tích chỉ số hóa học của nước được phát triển đầu tiên bởi H.A.Stiff vào năm 1951. Phương pháp này vẽ vòng bao khép kín qua 3 hoặc 4 trục song song nằm ngang cắt trục tung tại giá trị 0 (meq/l). Các cation được vẽ bên trái trục tung ở đơn vị meq/l và các anion vẽ bên phải. Đồ thị Stiff là công cụ hữu ích để so sánh giữa các nguồn nước khác nhau.

Phương pháp đồ thị Stiff dễ dàng xây dựng đồ thị các chỉ số hóa học của các mẫu từ nhiều nguồn khác nhau. Khi nguồn nước được xác định, đồ thị này có thể chỉ ra sự thay đổi chỉ số hóa học của các nguồn khác nhau theo không gian và thời gian. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là chỉ thực hiện được một phân tích trên một đồ thị.

Ngoài ra, có thể kể đến các phương pháp đồ thị khác dùng trong phân tích nước như: Piper, Durov, Schoeller, Ion

Bảng 1. Hệ số chuyển đổi tương đương [1]

Ion	Hóa trị	Khối lượng mole	Khối lượng chuyển đổi tương đương	Hệ số chuyển đổi (từ g.m ⁻³ sang meq/l)
H ⁺	1	1,0	1,0	1,0
Na ⁺	1	23,0	23,0	0,0435
K ⁺	1	39,0	39,1	0,0256
Ca ²⁺	2	40,1	20,15	0,0499
Mg ²⁺	2	24,3	12,15	0,0823
Fe ²⁺	2	55,9	28,0	0,0347
Zn ²⁺	2	65,4	32,7	0,0306
(NH ₄) ⁺ (as N)	1	14,0	14,0	0,0714
(HCO ₃) ⁻	1	61,0	61,0	0,0164
(CO ₃) ²⁻	2	60,0	30,0	0,0333
Cl ⁻	1	35,5	35,5	0,0282
F ⁻	1	19,0	19,0	0,0526
(SO ₄) ²⁻	2	96,0	48,0	0,0208
(NO ₃) ⁻ (as N)	1	14,0	14,0	0,0714
(H ₂ PO ₄) ⁻	1	97,0	97,0	0,0103



Hình 1. Đồ thị Stiff [1]

Balance, Radial và Properties vs Time [1]. Tuy nhiên, các đồ thị này tương đối đơn giản, chỉ phân tích cho từng mẫu từng ion riêng lẻ và không thể phân tích đồng thời nhiều chỉ số cùng lúc. Zaporozec đã tổng hợp và phân loại các phương pháp đồ thị này về 4 nhóm chính theo mục đích sử dụng: dùng cho phân loại, tìm quan hệ, phân tích và minh họa [3].

Các phương pháp trên được áp dụng tùy vào từng mục đích, lĩnh vực cụ thể. Sự thay đổi chỉ số ion của nước vỉa phức tạp vì có thể xâm nhập từ nhiều nguồn khác nhau. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả áp dụng đồ thị Stiff để phân tích đánh giá nguồn gốc nước và sự biến đổi theo thời gian.

2.2. Đồ thị K.S.Chan

Khi giếng khai thác xuất hiện nước, việc theo dõi động thái nước vỉa xâm nhập có thể được thực hiện bằng phương pháp cân bằng vật chất, mô hình mô phỏng, đồ thị... Phương pháp đồ thị K.S.Chan được công bố vào năm 1995, trong đó WOR (tỷ số nước - dầu) và đạo hàm WOR

được vẽ trên cùng đồ thị Log-Log theo thời gian (WOR'). Sự khác biệt của đường WOR và WOR' giúp dự báo cơ chế nước xâm nhập: mũ nước, kênh xâm nhập. Công thức tính WOR và đạo hàm WOR như sau:

$$WOR = \frac{q_w}{q_o}$$

$$WOR' = \frac{dWOR}{dt} = \frac{WOR_2 - WOR_1}{t_2 - t_1}$$

Phương pháp K.S.Chan dựa vào số liệu khai thác thực tế để dự báo các vấn đề khai thác nước vượt cấp. Như đã đề cập ở trên, 2 vấn đề thường gặp ở các giếng khai thác nước vượt mức là mũ nước và xâm nhập theo kênh (khe nứt, ống chống hở...). Hình 2 là các biểu hiện lý tưởng của WOR-WOR' cho các vấn đề khai thác nước vượt cấp.

Theo K.S.Chan, đồ thị Log-Log của WOR theo thời gian cho cả nước xâm nhập dạng mũ và theo kênh dẫn đều chia thành 3 giai đoạn chính. Giai đoạn đầu cho đến khi bắt đầu xuất hiện nước thì đường WOR không đổi hướng. Khi bắt đầu khai thác nước, giai đoạn 2, đường WOR sẽ thay đổi hướng khác nhau giữa cơ chế xâm nhập dạng mũ và dạng kênh dẫn. Ở cơ chế xâm nhập dạng mũ, đường WOR chuyển góc tương đối chậm và đều lên trên đến khi đạt một giá trị ổn định. Đường WOR sẽ chuyển góc lên trên rất nhanh ở cơ chế xâm nhập dạng kênh dẫn. Giai đoạn cuối, tốc độ tăng góc của đường WOR tiếp tục rất nhanh và giống nhau cho cả 2 cơ chế.

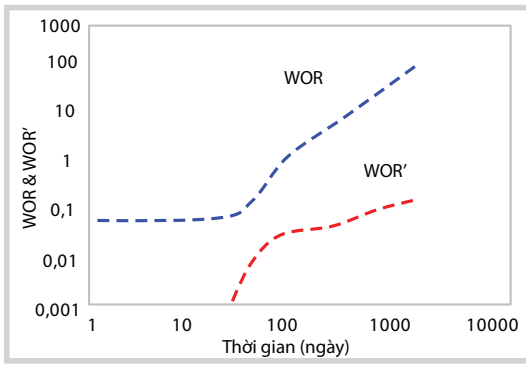
Hình 2 cũng mô tả các biểu hiện lý tưởng của đường đạo hàm WOR theo thời gian. Theo K.S.Chan, biểu hiện đường WOR' sẽ khác nhau giữa 2 cơ chế xâm nhập dạng mũ và kênh dẫn. Đường WOR' sẽ đi nhanh lên trên (góc dương) ở cơ chế dạng kênh dẫn còn dạng mũ thì WOR' đi chậm xuống dưới (góc âm).

Khai thác nước vượt mức có thể kiểm soát được nhờ theo dõi và quản lý vỉa, sửa chữa giếng bị sự cố. Phương án xử lý phụ thuộc vào cơ chế nước xâm nhập. Dự báo khuynh hướng hàm lượng nước tăng để tìm ra cơ chế xâm nhập nước là yếu tố rất quan trọng để đưa ra phương án xử lý. Các sự cố gặp phải khi khai thác vượt mức và phương án xử lý phù hợp được tổng hợp chi tiết trong nghiên cứu của Abbas Ali Changelvaie và cộng sự [4].

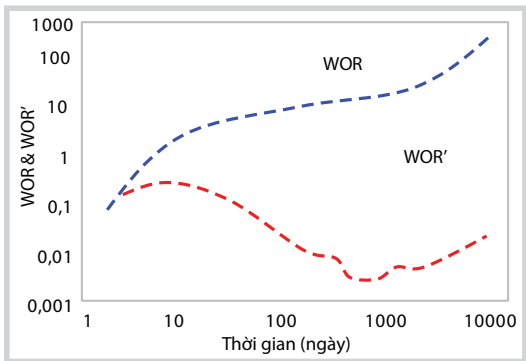
3. Xác định nguồn gốc và cơ chế xâm nhập nước khai thác từ vỉa móng nứt nẻ mỏ Thăng Long

3.1. Biểu hiện nước khai thác trong vỉa móng nứt nẻ mỏ Thăng Long

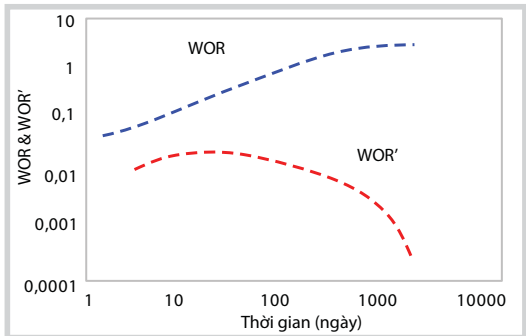
Vỉa móng nứt nẻ mỏ Thăng Long được phát hiện vào năm 2008 bởi 3 giếng thăm dò và thăm lượng. Hiện nay, đã có thêm 3 giếng phát triển ở cấu tạo này (Hình 3). Số



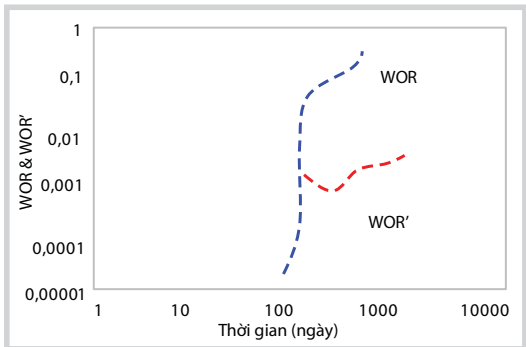
Nước xâm nhập dạng kênh dẫn



Nước xâm nhập dạng mũ từ tầng nước đáy giai đoạn đầu và dạng kênh dẫn ở giai đoạn sau

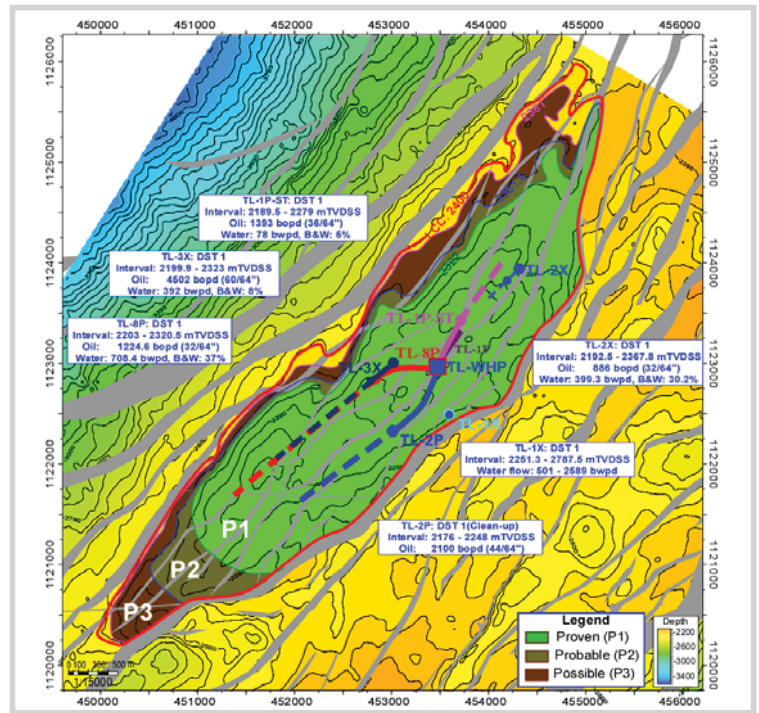


Nước xâm nhập dạng mũ từ tầng nước đáy



Nước xâm nhập từ nguồn nước lạ
Hình 2. Các biểu đồ K.S.Chan lý tưởng [2]

liệu thử vỉa từ các giếng thăm dò cho thấy nước thu hồi đều là nước kỹ thuật, chưa có dấu hiệu của nước vỉa. Hàm lượng chloride giảm dần nhưng đều trên 30.000ppm (Hình 4). Tuy nhiên, khi đưa vào phát triển giếng khai thác đầu tiên TL-8P đã xuất hiện nước ngay từ đầu. Hàm lượng



Hình 3. Bản đồ vị trí giếng khoan tại cấu tạo móng Thăng Long

chloride giảm dần đến 22.000ppm. Vấn đề đặt ra là nước thu hồi từ TL-8P có thực sự là nước vỉa hay vẫn còn là nước kỹ thuật. Sau một năm khai thác (không bơm ép nước), hàm lượng chloride và các hàm lượng hóa học khác đã dần ổn định.

Kết quả phân tích các mẫu nước khai thác từ vỉa móng Thăng Long thể hiện ở Bảng 2. Mẫu LS1.01.12 và LS1.01.58 được lấy từ giếng TL-8P ở giai đoạn đầu. Dựa vào phương pháp phân loại Saline Water, các mẫu nước này được kết luận là nước kỹ thuật [5].

3.2. Phân tích nước khai thác bằng đồ thị Stiff

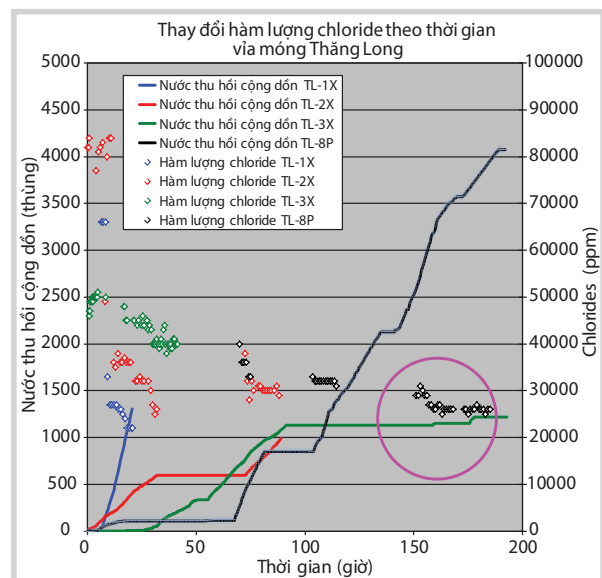
Ngay khi nước xuất hiện trong giếng TL-8P, mẫu nước được phân tích bằng phương pháp giản đồ Stiff và so sánh với nước vỉa các mỏ lân cận (Hình 5).

Đường bao của các mẫu nước LS1.01 cách rất xa với đường bao mẫu nước vỉa từ các mỏ lân cận 1 và 2. Hình dạng đường bao của các mẫu nước tiếp theo thay đổi theo thời gian. Đường bao bị thu hẹp dần và tiến về đường bao nước vỉa của các mỏ lân cận 1 và 2. Kết quả phân tích mẫu nước từ giếng TL-8P ngày 18/12/2014 (màu cam) gần như tiệm cận với đường bao nước vỉa mỏ lân cận.

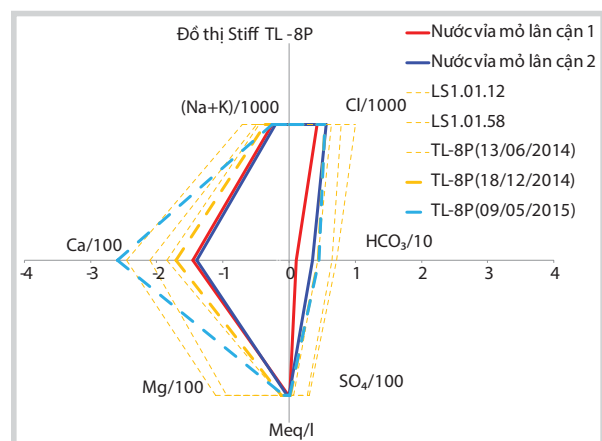
Phương pháp đồ thị Stiff được áp dụng tương tự cho giếng khai thác TL-1P như Hình 6. Đường bao nước khai thác từ giếng TL-1P đến tháng 7/2014 đã tiệm cận đường bao nước vỉa.

Mẫu nước vỉa khai thác từ móng nứt nẻ được phân tích liên tục để theo dõi động thái nước xâm nhập. Sau khi tiệm cận đường bao nước vỉa, đường bao nước khai thác sẽ thay đổi ở một số ion. Đây là tín hiệu rõ ràng của nước xâm nhập giúp nhà điều hành điều chỉnh chế độ khai thác phù hợp. Đồ thị Stiff theo thời gian cho thấy rõ 3 giai

đoạn thay đổi đường bao. Giai đoạn đầu nước khai thác chủ yếu là nước kỹ thuật. Đường bao sẽ thu hẹp dần vào giai đoạn 2 tùy thuộc vào mức độ khai thác nước và khoảng cách đến nguồn nước. Trong giai đoạn 2, đường bao nước khai thác tiệm cận nước vỉa, lúc này nước khai thác chủ yếu là nước vỉa. Giai đoạn 3 chỉ xuất hiện khi vỉa có nguồn nước khác xâm nhập. Giai đoạn 2 chuyển qua



Hình 4. Nước thu hồi và thay đổi hàm lượng chloride theo thời gian của các giếng khoan vào vỉa móng Thăng Long



Hình 5. Đồ thị Stiff so sánh các mẫu nước phân tích cho giếng TL-8P theo thời gian

Bảng 2. Kết quả phân tích nước từ các giếng khoan của vỉa móng Thăng Long

Ion	LS1.01.12	LS1.01.58	Nước vỉa mỏ lân cận 1	Nước vỉa mỏ lân cận 2	TL-8P (13/6/2014)	TL-1P (13/6/2014)	TL-1P (1/7/2014)	TL-8P (18/12/2014)	TL-1P (9/5/2015)	TL-8P (9/5/2015)
Sodium Na ⁺	16.052	11.226	5.649	2.403	10.352	22.101	9.020	8.314	5.732	5.643
Potassium K ⁺	281	128	453	4.075	173	263	102	154	280	179
Calcium Ca ²⁺	4.912	4.198	2.909	2.786	3.690	3.814	2.534	3.422	5.320	5.200
Magnesium Mg ²⁺	1.335	1.136	10	37	168	154	91	142	72	96
Chloride Cl ⁻	35.678	27.944	14.914	19.834	22.609	38.697	19.986	19.216	19.525	19.170
Bicarbonate (HCO ₃) ⁻	439	398	68	219	267	435	267	272	250	275
Sulphate (SO ₄) ²⁻	1.478	1.342	47	20	358	974	366	101	58	49

giai đoạn 3 nhanh hay chậm là do nguồn nước xâm nhập bên ngoài nhiều hay ít. Thông thường các chỉ số thay đổi ở giai đoạn 3 là Ca hoặc/và HCO₃.

Bằng phương pháp thống kê, nhóm tác giả đã xây dựng đường bao tổng quát của nước vỉa khai thác trong móng nứt nẻ mỏ Thăng Long. Đường bao này thể hiện hình dạng chung của nước vỉa tầng móng giúp các nhà điều hành khác có cơ sở so sánh (Hình 7). Biên độ thay đổi của từng chỉ số ion được tổng hợp trong Bảng 3.

Thông qua đồ thị Stiff, nước khai thác từ móng nứt nẻ mỏ Thăng Long được sớm xác định là nước vỉa. Nhờ đó, quỹ đạo giếng khai thác thứ 3 (TL-2P) đã được điều chỉnh nâng cao và tránh các vùng nứt nẻ có tiềm năng là kênh dẫn nước đã giúp làm chậm khai thác nước. Kết quả này cho thấy hiệu quả của đồ thị Stiff trong thực tế theo dõi và quản lý khai thác cũng như điều chỉnh giếng khoan thêm.

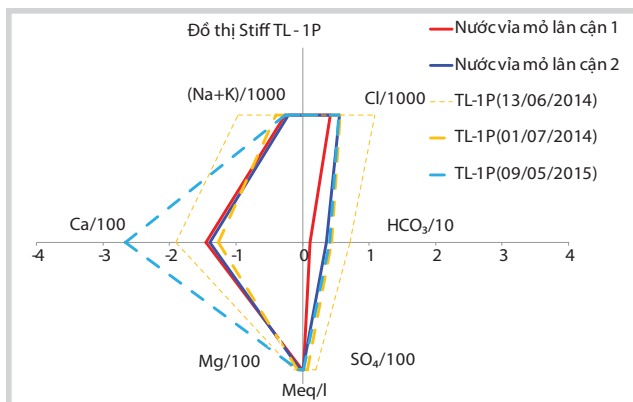
3.3. Xác định cơ chế nước xâm nhập bằng đồ thị K.S.Chan

Ngay khi nước khai thác được xác định là nước vỉa, đồ thị K.S.Chan được liên tục cập nhật để theo dõi động thái nước vỉa xâm nhập. Hình 8 và 9 là đồ thị K.S.Chan cho giếng TL-8P và TL-1P tương ứng.

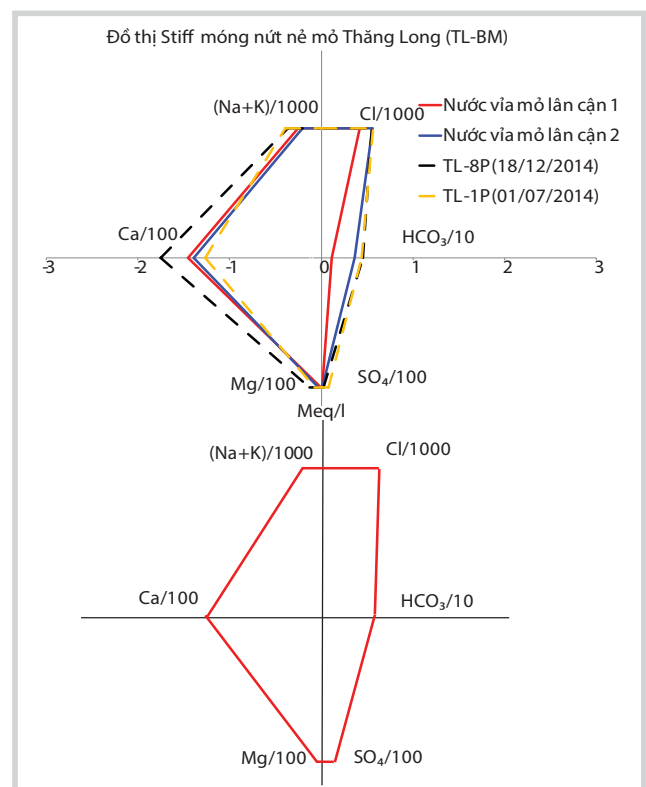
Giếng TL-8P và TL-1P trong giai đoạn đầu có nước xâm nhập từ tầng nước bên dưới thân dầu. Tuy nhiên, nước khai thác nhanh chóng xâm nhập theo các kênh dẫn có độ thấm cao (các khe nứt lớn liên thông trực tiếp tầng nước đáy với giếng khai thác) như minh họa trên mặt cắt địa chấn. Chế độ khai thác được duy trì trong một thời gian dưới ảnh hưởng của nước xâm nhập dạng mũ nước. Thậm chí cả hai cơ chế nước xâm nhập đã quan sát được ở các giếng này. Cơ chế xâm nhập dạng mũ ảnh hưởng lên khai thác trong vài tháng đầu và nhanh chóng chuyển sang ảnh hưởng bởi cơ chế dạng kênh dẫn trực tiếp.

Đặc biệt giếng TL-8P đã được điều chỉnh nhiều mức lưu lượng khai thác trong vòng 100 ngày để theo dõi khả năng gia tăng dòng từ các khe nứt vùng gần đỉnh. Kết quả thực tế

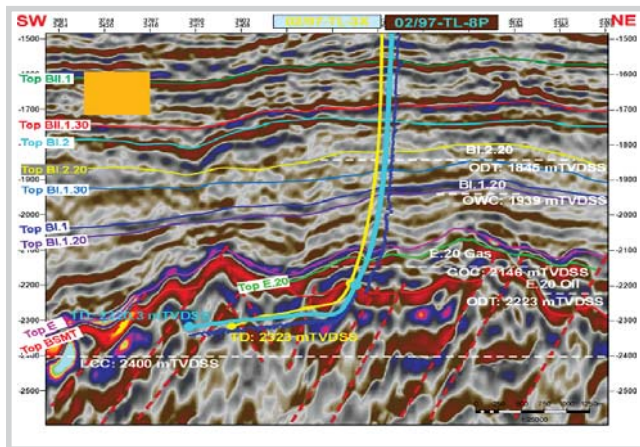
cho thấy, các khe nứt này cho dòng khí tăng chênh áp như mong đợi vì độ thấm vùng cận giếng TL-8P cao (độ thấm trung bình $\sim 87\text{mD}$). Sau một thời gian duy trì khai thác với chế độ này (khai thác ở lưu lượng cao), nước bắt đầu theo kênh dẫn xâm nhập vào giếng. Thời điểm này, chế độ khai thác được duy trì ở mức tối ưu để hạn chế các kênh nước xâm nhập khác. Tại giếng TL-1P, nước khai thác chuyển sang xâm nhập theo kênh dẫn rất sớm vì độ thấm vùng thân dầu kém và năng lượng vỉa đã giảm xuống thấp. Phương pháp tăng lưu lượng khai thác không áp



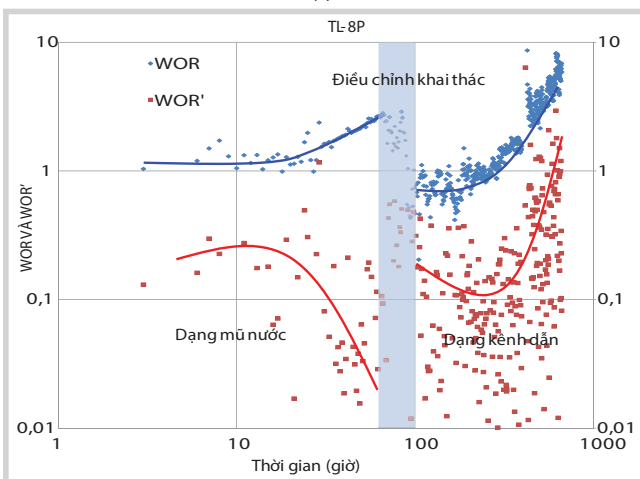
Hình 6. Đồ thị Stiff so sánh các mẫu nước phân tích cho giếng TL-1P theo thời gian



Hình 7. Giản đồ Stiff tổng quát nước vỉa khai thác từ vỉa móng nứt nẻ vỉa Thăng Long

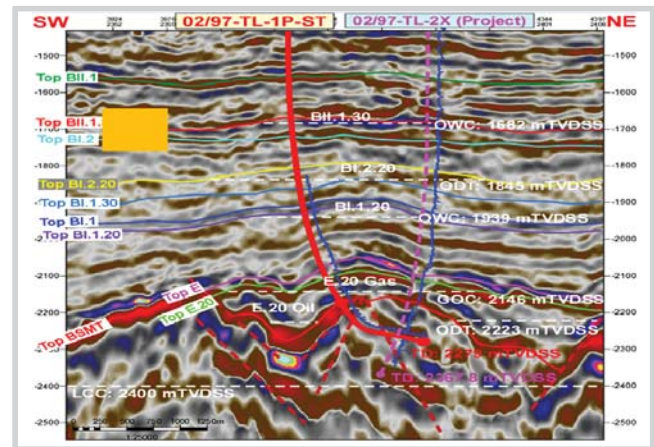


(a)

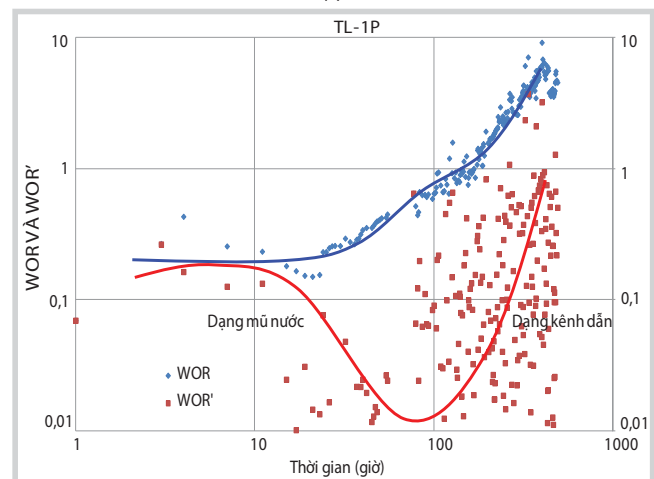


(b)

Hình 8. Mặt cắt địa chấn (a) và đồ thị K.S.Chan cho giếng TL-8P (b)



(a)



(b)

Hình 9. Mặt cắt địa chấn (a) và đồ thị K.S.Chan cho giếng TL-1P (b)

Bảng 3. Biên độ thay đổi của các ion trong nước vỉa

Ion	(Na+K)/1000	Ca/100	Mg/100	SO ₄ /100	HCO ₃ /10	Cl/1000
Tolerance (meq/L)	$\frac{- (0,21 - 0,39)}{- 0,28}$	$\frac{- (1,27 - 4,36)}{- 2,68}$	$\frac{- (0,01 - 0,12)}{- 0,05}$	$\frac{(0,004 - 0,076)}{0,002}$	$\frac{(0,11 - 1,18)}{0,64}$	$\frac{(0,42 - 0,63)}{0,55}$

dụng cho giếng TL-1P vì độ thấm trung bình thử vỉa kém (độ thấm trung bình $\sim 1,7\text{mD}$). Nếu tăng khai thác sẽ tạo thêm nhiều kênh dẫn cho nước xâm nhập.

Từ cơ chế khai thác nước và tính chất vỉa chứa, nhà điều hành đưa ra các phương án điều chỉnh để duy trì tối ưu. Trong vỉa móng nứt nẻ, thời gian chuyển đổi giữa nước xâm nhập dạng mũ và dạng kênh dẫn trực tiếp là rất sớm nếu khai thác vượt mức. Do đó, cần phải liên tục cập nhật đồ thị K.S.Chan để theo dõi động thái vỉa và tối ưu khai thác.

Để tăng mức độ chính xác trong dự báo cơ chế nước xâm nhập, nên áp dụng phương pháp đồ thị vào các giếng ở vỉa móng nứt nẻ với lịch sử khai thác lâu hơn. Đồ thị K.S.Chan đã cho thấy hiệu quả thực tế trong hoạt động theo dõi và quản lý khai thác.

4. Kết luận

Phương pháp đồ thị giúp xác định sớm nước vỉa từ các giếng khoan dầu khí trong vỉa móng nứt nẻ bể Cửu Long. Biểu hiện thay đổi đường bao Stiff chia thành 3 giai đoạn chính: giai đoạn đầu nước khai thác chủ yếu là nước kỹ thuật, giai đoạn 2 là nước vỉa và giai đoạn 3 có nước xâm nhập.

- Khi xác định nước khai thác là nước vỉa, bằng phương pháp đồ thị K.S.Chan sẽ phân tích được động thái

nước vỉa và sớm phát hiện khai thác nước vượt mức. Từ đó, điều chỉnh chế độ khai thác cho phù hợp với động thái vỉa để tăng thu hồi dầu - khí.

- Đường bao nước vỉa tổng quát từ móng nứt nẻ mỏ Thăng Long đã được xây dựng là nguồn tham khảo cho phân tích nước khai thác từ các vỉa khác trong bể Cửu Long.

- Áp dụng phương pháp này cho các giếng khác và đánh giá, so sánh với các phương pháp khác.

Tài liệu tham khảo

1. Erika Elswick. *Methods for analytical geochemistry*. Geology 214 (Lectures), Indiana University. 2012.
2. Echufu-Agbo Ogbene Alexis. *Diagnostic plots for analysis of water production and reservoir performance*. Master of Science in Petroleum Engineering. 2010.
3. Alexander Zaporozec. *Graphical interpretation of water - Quality data*. Department of Geology and Geophysics, University of Wisconsin. 1972; 10(2): p. 32 - 43.
4. Abbas Ali Changalvaie, Kazem Lovimi, Abbas Khaksar. *Mechanism of excessive water production in an Iranian offshore oilfield*. International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. 2012.
5. *Water sample analysis & evaluation report*. Petrovietnam Research and Development Center for Petroleum Processing. 2014.

Determination of source and breakthrough mechanism of water production in Thang Long field fractured basement reservoir by Stiff diagram method

Le Minh Vu, Tran Thai Son, Vu Viet Hung
Lam Son Joint Operating Company
Email: vulm@lsjoc.com.vn

Summary

During the production phase, produced water has been constantly analysed to monitor well performance and water encroachment so as to come up with a mitigation plan to optimise production and diagnose scale deposit and erosion. In this paper, the Stiff diagram [1] is employed to evaluate the water source by plotting chemical indicators and determine the water-out mechanism in the production wells of Thang Long field by a hypothesis developed by K.S.Chan [2]. Those methods have the advantages of being simple, handy and cost-effective which allow the operators to easily monitor production, determine the water breakthrough mechanism and optimise well production performance in the long run.

Key words: Water analysis, water breakthrough mechanism, excessive water production, fractured basement reservoir, diagram method.