PHƯƠNG PHÁP LỰA CHỌN CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NƯỚC KHAI THÁC TRONG CÔNG NGHIỆP DẦU KHÍ

ThS. Lê Thị Phượng
Tập đoàn Dầu khí Việt Nam
TS. Nguyễn Đức Huỳnh
Hội Dầu khí Việt Nam
GS. Đào Văn Tường
Viện Kỹ thuật Hóa học - Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt

Nước khai thác là chất thải lớn nhất được tạo ra trong khâu đầu ngành công nghiệp dầu khí, có khả năng ảnh hưởng lớn đến môi trường biển và các hệ sinh thái trên đất liền. Trên thế giới, công nghệ xử lý nước khai thác đã được cải tiến liên tục nhằm tiếp tục nâng cao hiệu quả xử lý nguồn chất thải độc hại này. Bài viết này phân tích các hệ thống xử lý nước khai thác đang được nghiên cứu, phát triển, trong đó mô tả ưu nhược điểm cũng như phạm vi, lĩnh vực áp dụng. Hiệu quả và chất lượng của các công nghệ xử lý nước khai thác khác nhau được phân tích theo phương pháp phân cấp theo 5 bậc được mô tả trong bài viết. Sơ đồ phân cấp này là sự lựa chọn cẩn thận giữa các công nghệ xử lý với việc xác định các tiêu chí xử lý cần đạt được.

1. Mở đầu

Nước khai thác được tách ra từ dầu hoặc khí trong quá trình khai thác và không phải là sản phẩm đơn chất. Các đặc trưng vật lý và hóa học của nước khai thác phụ thuộc vào vị trí địa lý của mỏ, vào sự thành tạo địa chất, nơi nước khai thác tiếp xúc nhiều năm và phụ thuộc vào dạng hydrocarbon được khai thác [1]. Các đặc trưng cũng có thể thay đổi theo thời gian khai thác mỏ, nhất là khi khai thác dầu/khí có sử dụng công nghệ bơm ép sẽ làm thay đổi đặc tính và khối lượng nước khai thác. Vì vậy, nước khai thác sẽ có sự khác biệt rất lớn về tính chất giữa các mỏ dầu/khí khác nhau mà khó tìm thấy một sự đồng nhất tuyệt đối [1].

Trong công nghiệp dầu khí, xử lý nước thải nhiễm dầu (chủ yếu là nước khai thác) là công việc rất quan trọng vì:

- Nước khai thác chiếm tỷ lệ lớn nhất trong lượng chất thải của ngành công nghiệp dầu khí. Để khai thác một thùng dầu, trung bình phải xử lý từ 3 - 7 thùng nước khai thác. Hàng năm, ngành công nghiệp dầu khí thế giới đã sản sinh ra khoảng 50 tỷ thùng nước khai thác [2] và khối lượng này sẽ ngày càng tăng theo tuổi thọ của các mỏ dầu/khí.

- Nước khai thác chứa nhiều thành phần độc hại (như dầu tự do, dầu ở dạng nhũ tương, muối, phenol, lưu huỳnh…) được sử dụng trong quá trình khai thác dầu khí cũng như trong quá trình xử lý nước khai thác ở các mỏ dầu/khí. Nước khai thác có hàm lượng dầu cao (1.000mg/l), chất khoáng vô cơ cao (20.000 - 50.000mg/l), pH (7,5 - 8,5), nước thải nhiễm dầu có chứa vi khuẩn (vi khuẩn khử sulfate SRB510µm)... [2].

- Khối lượng nước thải lớn sẽ là nguồn chất thải độc hại tiềm tàng có khả năng gây ô nhiễm môi trường, sinh thái và sức khỏe cộng đồng với mức độ nghiêm trọng và ở diện rộng [2].

- Nếu việc xử lý nước khai thác rất tốn kém thì việc quản lý nước khai thác cũng rất phức tạp. Chi phí cho việc xử lý nước khai thác thay đổi theo từng khu vực, ví dụ ở Mỹ 0,05 - 0,3USD/thùng, Biển Bắc 0,19 - 3,4USD/thùng, thậm chí ở Ba Lan thì con số này lên đến 80USD/thùng [3].

Từ những lý do trên, việc nghiên cứu, lựa chọn công nghệ xử lý nước khai thác phù hợp cho hiện tại và tương lai là yêu cầu cấp thiết trong xử lý chất thải nói riêng và công tác bảo vệ môi trường nói chung của ngành công nghiệp dầu khí.

Quản lý và kiểm soát chi phí xử lý nước khai thác có thể thực hiện bằng cách lựa chọn phương thức thích hợp để thải bỏ nước khai thác hoặc tìm cách tái sử dụng nước khai thác để mang lại lợi ích cho dự án. Việc lựa chọn phương thức thải bỏ hoặc tái sử dụng phải được xử lý để đảm bảo chất lượng theo quy định trước khi xả thải ra môi trường. Mục đích của quá trình xử lý nước khai thác gồm: loại bỏ dầu/mỡ - được tồn tại dưới dạng tự

do hay phân tán dưới dạng nhũ tương trong nước khai thác; loại bỏ chất hữu cơ hòa tan; khử trùng - loại bỏ các vi khuẩn, vi sinh vật, tảo…; loại bỏ chất rắn lơ lửng - loại bỏ các huyền phù, cát, độ đục...; loại bỏ khí hòa tan -

Bảng 1. *So sánh ưu điểm, nhược điểm các phương pháp loại dầu trong nước khai thác và khả năng ứng dụng của nước khai thác sau xử lý [4]*

Công nghệ xử lý	Mô tả	Ưu điểm	Nhược điểm	Đặc trưng dòng thải	Sử dụng nước khai thác
Thiết bị tách đĩa chặn lượn sóng (corrugated plate separator)	Tách dầu tự do từ nước thải bởi tác động trọng lực, được tăng cường bởi sự kết tụ trên bề mặt của các đĩa lượn sóng	Không cần năng lượng, rẻ tiền. Hiệu quả với việc thu hồi các giọt dầu lớn và chất rắn lơ lửng. Không có bộ phận chuyển động, thiết bị này rất bền và không sợ xảy ra bất kỳ sự cố nào trong vận hành	Không có hiệu quả với các hạt dầu nhỏ, đòi hỏi thời gian lưu giữ, lắng đọng lâu	Những hạt bùn lơ lửng ở dưới đáy của thiết bị tách	Dầu thu hồi từ nhũ tương hay từ nước có hàm lượng dầu cao trước khi được thải bỏ. Nước khai thác từ các vỉa (dầu/khí) thường được coi là nguyên liệu và chứa dầu/mỡ cao hơn 1.000mg/l
Ly tâm (centrifuge)	Tách dầu tự do từ nước thải do lực ly tâm được tạo ra bằng sự quay của trục xi lanh của máy ly tâm	Loại bỏ có hiệu quả các hạt dầu nhỏ và chất rắn lơ lửng, cần ít thời gian lưu giữ nước thải, công suất xử lý cao	Cần năng lượng để ly tâm, chi phí cho bảo dưỡng cao	Cần xử lý trước các hạt bùn lơ lửng trong nước thải	
Thiết bị hydroclone (hydroclone)	Dầu tự do được tách ra khỏi nước thải bởi lực ly tâm được sản sinh do sự gia tăng áp lực tiếp tuyến ở đầu vào của dòng nước thải	Module (xử lý) nhỏ gọn, có hiệu quả cao và công suất tối ưu cho các hạt dầu nhỏ	Yêu cầu năng lượng để tạo áp lực đầu vào, không tách được chất rắn, gây tắc, chi phí bảo dưỡng cao		
Tuyển nổi (gas floatation)	Các hạt dầu được đính kèm với các bọt khí cảm ứng và nổi lên bề mặt	Không có bộ phận chuyển động, hiệu quả hơn do có sự kết tụ, hoạt động dễ dàng, mạnh mẽ và bền	Cần tiêu thụ lượng lớn không khí, đòi hỏi có thời gian cho lưu giữ nước thải trước khi tách dầu, cần khoảng trống để vớt dầu	Cần khoảng không để vớt dầu	
Chiết (tách) (extraction)	Loại bỏ dầu tự do hoặc dầu hòa tan bằng cách hòa tan trong dung môi hydrocarbon nhẹ hơn	Không cần năng lượng, dễ vận hành, có thể thu hồi dầu hòa tan.	Cần bảo quản dung môi đã sử dụng để tái chế và dùng lại	Sản sinh chất thải thứ cấp từ quá trình tái chế dung môi	Dầu thu hồi từ nước thải có nồng độ dầu/mỡ thấp (1.000mg/l) hoặc cần thu hồi một lượng vết dầu mỡ của nước thải trước khi thực hiện việc xử lý màng. Tầng chứa dầu và tầng chứa khí sinh nhiệt thường chứa một lượng vết của chất lỏng hydrocarbon. Khí thiên nhiên nguồn gốc sinh học như khí thiên nhiên từ tầng (vỉa) than đá có thể không chứa chất lỏng trong tầng chứa, nhưng khi được bơm lên bề mặt, nước sẽ hấp thụ chất lỏng bôi trơn từ các máy bơm
Ozone/nước oxy già/oxy (ozone/hydrogen peroxide/oxygen)	Các chất oxy hóa mạnh oxy hóa chất gây ô nhiễm hòa tan và loại bỏ chúng bằng kết tủa	Dễ vận hành, có hiệu quả cho các xử lý ban đầu với các cấu tử hòa tan trong nước thải	Cần cung cấp chất oxy hóa tại chỗ, phải tách chất sa lắng, sản sinh các sản phẩm phụ như CO_2	Chất rắn kết tủa ở dạng bùn	
Hấp phụ (adsorption)	Độ xốp của các chất sẽ hấp phụ các chất bẩn trong nước thải	Thiết bị nhỏ gọn có dạng tấm đệm, giá rẻ và dễ vận hành	Cần thời gian lưu giữ lâu, ít có hiệu quả khi chất bẩn trong nước thải có nồng độ cao	Dùng các vật liệu xốp để hấp phụ, cần tái sinh chất thải	

Bảng 2. *So sánh ưu điểm, nhược điểm của các phương pháp khử trùng và khử muối nước khai thác và khả năng ứng dụng của nước khai thác sau xử lý*

Công nghệ xử lý	Mô tả	Ưu điểm	Nhược điểm	Đặc trưng dòng thải	Sử dụng nước khai thác
Khử trùng (Disinfection)					
Ánh sáng tử ngoại/ozone (UV light/ozone	Chiếu ánh sáng tử ngoại hoặc ozone qua nước thải sẽ sản sinh ion hydroxyl diệt vi sinh vật	Vận hành đơn giản và sạch sẽ, hiệu quả cao và có tác dụng tẩy trùng	Cung cấp ozone tại chỗ, các chất bẩn (tạp chất) khác sẽ làm giảm hiệu suất của phương pháp	Có một thể tích nhỏ các hạt lơ lửng tồn tại ở giai đoạn cuối của quá trình xử lý	Vi khuẩn có thể tồn tại dưới đáy bể chứa hoặc có thể được du nhập vào bất kỳ công đoạn nào trong quá trình sản xuất và xử lý. Cần khử trùng để có thể dùng nước sau xử lý vào mục đích để uống hoặc để ngăn chặn sự nhiễm bẩn bể chứa, tubulars và bề mặt thiết bị.
Khử trùng bằng clo (clorination)	Clo phản ứng với nước để sản xuất acid hypochlorous giết chết các vi sinh vật	Phương pháp đơn giản và rẻ tiền	Không thể giết chết tất cả các chủng loại vi sinh vật		
Khử muối (Desalinization)					
Làm mềm nước thải bằng vôi tôi (lime softening)	Thêm bột vôi để thu hồi carbonate, bicarbonate và các chất làm cứng (nước thải) khác	Rẻ, dễ tiếp cận và có thể thay đổi được	Cần phải thêm hóa chất vào nước thải sau khi xử lý	Phải dùng hóa chất và phát sinh thêm cặn lắng đọng	Công nghệ này ít tiêu tốn điện và không đòi hỏi quá nhiều những xử lý ban đầu như công nghệ màng. Nước khai thác phù hợp cho công nghệ này sẽ có giá trị tổng chất rắn hòa tan (TDS) từ 10.000 - 1.000mg/l. Một số phương pháp xử lý có thể loại bỏ dầu và mỡ nhiễm bẩn, trong khi một số phương pháp xử lý khác lại yêu cầu phải loại bỏ dầu/mỡ nhiễm bẩn trước khi xử lý nước thải nhiễm dầu
Trao đổi ion (ion exchange)	Muối và khoáng chất hòa tan được ion hóa và loại bỏ bằng cách trao đổi ion với các ion trao đổi	Yêu cầu ít năng lượng, nhựa (ion) có thể được tái sinh liên tục, việc xử lý có thể thay đổi và có hiệu quả	Yêu cầu xử lý phụ cho trước và sau khi xử lý chính để cho hiệu suất xử lý cao, sản sinh dòng chảy ra đậm đặc	Cần phải tái sinh các hóa chất	
Sự thấm tách bằng điện (electrodialisic)	Các muối ion hóa hút và tiếp cận với các điện cực tích điện trái dấu đi qua các màng trao đổi ion	Công ngh ệ sạch, không dùng hóa chất, hơn nữa có thể xử lý di động và giá thành x ử lý rẻ	Ít hiệu quả khi dòng nước thải đậm đặc, yêu cầu phải tái sinh các màng	Yêu cầu phải tái sinh chất thải	
Điện cực khử ion (electro-deionization)	Sự thấm tách bằng điện được tăng cường do sự hiện diện của các nhựa trao đổi ion ở giữa các màng trao đổi ion	Loại bỏ hàng tuần các dạng chất thải bị ion hóa, hiệu suất cao và có khả năng xử lý di động	Cần phải tái sinh các nhựa trao đổi ion trước và sau khi xử lý	Cần tái sinh chất thải, chất thải đượclọc sau khi th ực hiện xử lý	
Điện dung khử ion (capacitive deionization)	Các muối ion hóa được hấp thụ bởi điện cực tích điện dương.	Yêu cầu năng lượng thấp, công suất xử lý cao.	Điện cực khá đắt, sản sinh mùi hôi khó chịu	Cần tái sinh chất thải	
Hoạt hóa điện hóa (electrochemical activation)	Nước bị ion hóa phản ứng với ion clorua được ion hóa để sản sinh chlorite giết chết vi sinh vật	Đồng thời vừa loại bỏ muối và vi khu ẩn, giảm ô nhi ễm	Điện cực khá đắt	Cần tái sinh chất thải	
Hóa hơi bằng phun nhanh (rapid spray evaporation)	Bơm nước thải với tốc độ cao vào bộ hóa hơi bằng không khí đun nóng. Nước thải sẽ được cô đặc để trở thành nước đã được xử lý	Nước thải được xử lý với chất lượng cao, đạt hệ số chuyển đổi cao	Đòi hỏi nhiều năng lượng để làm nóng không khí, cần bảo quản chất rắn	Chất thải ở dạng bùn xuất hiện ở giai đoạn cuối của quá trình bay hơi, rắn	
Hóa hơi bằng làm tan băng (freeze thaw evaporation)	Sử dụng sự tuần hoàn của nhiệt độ tự nhiên làm tan chảy nước thải bị đóng băng (gồm phần nước và phần nhiễm bẩn) để tách ra phần nước sạch	Không cần năng lượng, quá trình xử lý diễn ra tự nhiên và giá thành rất thấp	Hệ số trao đổi thấp, chu kỳ vận hành kéo dài		

Bảng 3. *So sánh ưu điểm, nhược điểm của các phương pháp xử lý màng nước khai thác và khả năng ứng dụng của nước khai thác sau xử lý*

Công nghệ xử lý	Mô tả	Ưu điểm	Nhược điểm	Đặc trưng dòng thải	Sử dụng nước khai thác
Lọc tinh (microfiltration)	Các màng có thể thu giữ các vi hạt trong nước thải dưới tác dụng của áp suất	Thu hồi hiệu quả cao đối với nước thải có nguồn gốc nước ngọt, thiết bị nhỏ gọn	Đòi hỏi dùng nhiều năng lượng, kém hiệu quả đối với các muối hóa trị 1 và hóa trị 2, các virus…	Chất thải đậm đặc từ màng sẽ được đẩy ngược ra ngoài trong khi rửa màng, dòng thải đậm đặc được sinh ra khi thực hiện việc lọc	Có thể thu hồi dầu và mỡ ở dạng vết, các vi khuẩn, các chất hữu cơ hòa tan, các muối hóa trị 2, các acid, các chất rắn ở dạng vi lượng, tiêu chí thu giữ chất nhiễm bẩn trong nước thải có thể đạt được bằng cách lựa chọn màng lọc thích hợp
Vi lọc (ultrafiltration)	Màng sẽ loại bỏ các siêu hạt từ nước thải dưới áp lực sử dụng	Thu hồi chất bẩn có hiệu quả khi nước thải có nguồn gốc nước ngọt, module nhỏ gọn, có khả năng loại bỏ virus và các chất hữu cơ	Tiêu thụ nhiều năng lượng, màng dễ bị tắc, hiệu quả với các muối và chất hữu cơ có trọng lượng phân tử thấp		
Lọc nano (anofiltration)	Công nghệ tách màng loại bỏ các loại chất bẩn khác nhau ở giữa siêu lọc và RO	Loại bỏ chất hữu cơ có trọng lượng phân tử thấp, loại bỏ các ion gây cứng cho nước và các muối có hóa trị 2, thiết bị nhỏ gọn	Tiêu thụ nhiều năng lượng, hiệu quả cao đối với các muối có hóa trị 1 và các chất hữu cơ có trọng lượng phân tử thấp. Màng dễ bị tắc nghẽn		
Thẩm thấu ngược (reverse osmosis (R)	Nước sạch được ép ra từ nước thải bẩn dưới áp lực thay đổi	Có thể thu hồi các muối có hóa trị 1 và các chất bẩn hòa tan… thiết bị nhỏ gọn	Yêu cầu áp lực cao, ngay cả khi tồn tại một lượng rất nhỏ dầu/mỡ trong nước thải cũng gây ra sự tắt màng (lọc)		Loại bỏ natri clorua, các muối đơn hóa trị và các chất hữu cơ khác. Một số loại chất hữu cơ cần yêu cầu tiền xử lý trước khi xử lý chính thức. Trong khi chi phí năng lượng tăng cao khi xử lý với hàm lượng cao của tổng chất rắn hòa tan (TDS) thì phương pháp thẩm thấu ngược (RO) lại có thể xử lý có hiệu quả để loại bỏ muối khi nồng độ vượt quá 10.000mg/L.

loại bỏ các loại khí hydrocarbon nhẹ, carbon dioxide (CO_2), hydrogen sulfide (H_2S); mềm hóa - loại bỏ độ cứng của nước dư thừa; điều chỉnh tỷ lệ hấp thụ natri (SAR), bổ sung các ion calci hoặc các ion magnesium vào nước khai thác để điều chỉnh mức độ nhiễm mặn trước khi dùng cho thủy lợi (chỉ áp dụng khi nước khai thác dùng cho thủy lợi); loại bỏ độ phóng xạ tự nhiên (NORM) trong các vật liệu.

2. So sánh các phương pháp xử lý nước khai thác và khả năng ứng dụng của nước khai thác sau xử lý

Về công nghệ xử lý nước khai thác (Bảng 1 - 4), tác giả đã phân tích ưu nhược điểm của từng công nghệ xử lý, so sánh thuận lợi, khó khăn, chất lượng dòng thải (sau khi xử lý) và ứng dụng của nước khai thác sau xử lý trong công nghiệp dầu khí. Độ bền và chi phí của thiết bị phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của môi trường nơi thiết bị xử lý được sử dụng, ý nghĩa thương mại của công nghệ xử lý sẽ được quyết định bởi người vận hành. So sánh độ bền vốn có của thiết bị có thể được thực hiện trong từng mục tiêu, nhưng ở đây chỉ mô tả khái quát. Chi phí xử lý sẽ khác nhau từ địa điểm này đến địa điểm khác và có thể còn phụ thuộc vào loại hình thương mại và sự đổi mới phương pháp…

Sản phẩm sau xử lý của nước khai thác là đặc trưng riêng cho từng công nghệ xử lý.

Nước khai thác được phép bơm thẳng xuống các vỉa địa tầng nằm sâu dưới lòng đất, giúp tiết kiệm chi phí. Ứng dụng này vừa đạt được mục tiêu xử lý nước khai thác, vừa đảm bảo lợi ích của việc tái sử dụng nước khai thác

Bảng 4. *So sánh ưu điểm, nhược điểm của các phương pháp xử lý đặc biệt nước khai thác và khả năng ứng dụng của nước khai thác sau xử lý*

Công nghệ xử lý	Mô tả	Ưu điểm	Nhược điểm	Đặc trưng dòng thải	Sử dụng nước khai thác
Bộ lọc nhỏ giọt (trickling filter)	Phát triển lớp mỏng vi khuẩn trên bề mặt vật liệu nạp vào để làm giảm các chất nhiễm bẩn trong nước.	Giá thành xử lý thấp, là công nghệ sạch	Cần oxy, bộ lọc có kích thước lớn	Xuất hiện bùn thải ở công đoạn cuối của quá trình xử lý	Có thể thu giữ các chất huyền phù và chất rắn ở dạng vết. Sau xử lý yêu cầu tách sinh khối, chất rắn kết tủa và khí hòa tan
Xử lý theo cách tạo vùng ngập nước (contructed weland treatment)	Quá trình oxy hóa tự nhiên và phân hủy các chất gây ô nhiễm bởi hệ thực vật và động vật	Rẻ, loại bỏ có hiệu quả các chất gây ô nhiễm ở dạng hòa tan và huyền phù.	Cần thời gian lưu giữ, nhiệt độ và pH của nước thải bị ảnh hưởng		
Điều chỉnh tỷ lệ hấp thụ natri (SAR adjustmen)	Thêm ion calci hoặc magnesium	Giải pháp có chi phí thấp	Cần thêm hóa chất		Điều chỉnh tỷ lệ hấp thụ natri (SAR) cao và tổng hàm lượng chất rắn hòa tan (TDS) rất thấp (làm cho nồng độ muối natri cao hơn sau khi xử lý màng)
Xử lý vật liệu nhiễm xạ tự nhiên (NORM treatment)					
Xử lý các vật liệu nhiễm phóng xạ tự nhiên (NORM treatment)	Chiết các vật liệu nhiễm phóng xạ với dung môi thích hợp	Có hiệu quả để làm giảm chất thải phóng xạ có khối lượng lớn	Chiết xuất vật liệu phóng xạ cần thêm các xử lý phụ hay chôn lấp khác		Nước khai thác nhiễm phóng xạ uranium hay thorium cao, nếu không được xử lý cẩn thận thì sẽ dẫn đến nhiễm xạ cho các thiết bị trên bề mặt và đòi hỏi một sự xử lý khác bổ sung tốn kém
Loại bỏ khí thiên nhiên (Natural gas recovery)					
Tách bằng không khí (air stripping)	Tách các khí hòa tan ra khỏi nước thải	Vận hành đồng thời hay đối lưu, giá thành thấp	Có hiệu suất thấp và cần thêm xử lý phụ sau xử lý chính		

hoặc bơm nước khai thác trở lại các vỉa địa tầng. Đây là một phần của nội dung lựa chọn lĩnh vực ứng dụng nước khai thác sau khi xử lý [4].

Sau các công nghệ loại dầu trong nước khai thác thì các công nghệ khử trùng và khử muối cho nước khai thác được so sánh và trình bày ở Bảng 2 [4].

Trong những năm gần đây, công nghệ xử lý màng được cải tiến rất nhiều về kỹ thuật để nâng cao hiệu quả xử lý nước thải nhiễm dầu nói chung và nước khai thác nói riêng. Trong Bảng 3, nhóm tác giả tập hợp và so sánh một số công nghệ xử lý màng thường được ứng dụng để xử lý nước khai thác. Điều lưu ý là nước khai thác sau khi xử lý bằng công nghệ màng có tính khả dụng cao hơn so với khi xử lý bằng các công nghệ khác [4]. Bảng 4 trình bày tóm tắt và so sánh các công nghệ đặc biệt ứng dụng xử lý nước khai thác.

3. Phân cấp và lựa chọn công nghệ xử lý nước khai thác [4]

Hiệu quả và chất lượng của các công nghệ xử lý nước khai thác khác nhau được phân tích theo phương pháp phân cấp theo 5 bậc được mô tả dưới đây. Bảng phân cấp là sự lựa chọn cẩn thận các công nghệ xử lý với việc xác định các tiêu chí xử lý cần đạt được, là công cụ tốt để xử lý và quản lý nước khai thác. Tuy nhiên, cần phải cập nhật các công nghệ đã thương mại hóa, sẽ đổi mới và được thiết lập để tạo ra công nghệ được cải tiến. Bảng phân cấp của mỗi bước phụ thuộc vào bảng phân cấp của các bước khác. Kinh nghiệm cùng sự điều chỉnh công nghệ hợp lý sẽ giúp sử dụng phù hợp các tiêu chí trong bảng phân cấp dưới đây. Đây là bảng phân cấp động, có thể thay đổi trong thực tế ứng dụng.

- *Bước 1: Khả năng của công nghệ để loại bỏ các chất bẩn riêng biệt*

Phương pháp đơn giản nhất để thể hiện hiệu suất của một công nghệ xử lý là tỷ lệ % chất gây ô nhiễm được loại bỏ. Bảng phân cấp có thể được mô tả trong 5 hạng mục.

Tỷ lệ chất gây ô nhiễm được loại bỏ (%)	Phân cấp
> 95	5
90 - 95	4
75 - 90	3
50 - 75	2
< 50	1

- *Bước 2: Mức tiêu thụ nguồn lực để loại bỏ các chất bẩn theo ý muốn bằng các công nghệ hiện có*

Việc tiêu thụ các nguồn lực, chẳng hạn như nguyên liệu, công sức, tiền bạc và năng lượng... phải được xem xét trong bảng phân cấp. Như đã nêu ở phần trên về sự phụ thuộc lẫn nhau của các tiêu chí phân cấp, trong trường hợp vận hành thiết bị thẩm thấu ngược (RO). Sử dụng áp lực cao xuyên ngang qua màng (năng lượng) là cần thiết để đạt được việc loại bỏ hiệu quả các muối ở chế độ thu hồi cao. Việc xếp phân cấp được mô tả ở 5 mức độ.

Mức độ tiêu thụ nguồn lực	Phân cấp
Thấp	5
Tương đối thấp	4
Trung bình	3
Cao	2
Rất cao	1

Tiếp tục thảo luận về RO, 75 - 90% (mức 3) loại bỏ các muối hòa tan đòi hỏi năng lượng vừa phải (mức 3). Đối với màng và mức độ chất nhiễm bẩn như nhau > 95% (mức 5). Việc loại bỏ chất nhiễm bẩn đòi hỏi năng lượng cao (mức 2).

- *Bước 3: Sự đòi hỏi các công nghệ xử lý phụ trước hoặc sau khi được xử lý với công nghệ có sẵn*

Hầu hết các công nghệ xử lý nước thải hiện nay thường có yêu cầu xử lý thêm trước hoặc sau khi xử lý chính để cải thiện hiệu quả và để đạt được chất lượng tối ưu cũng như để xử lý các sản phẩm phụ… Mở rộng phạm vi xử lý như vậy sẽ làm cho việc xử lý đạt hiệu quả cao hơn nhưng đồng thời cũng kéo theo việc bổ sung chi phí cho thiết bị, năng lượng… Việc phân cấp ở đây cũng được chia thành 5 bậc.

Có yêu cầu xử lý phụ trước hoặc sau khi xử lý chính	Phân cấp
Cơ bản: làm lạnh, làm nóng, lắng đọng, lưu giữ…	5
Mức 1: điều chỉnh pH, làm mềm nước, thêm hóa chất, loại bỏ chất rắn lơ lửng, loại dầu, lọc cát… (sử dụng các công nghệ mô tả ở phần trước)	4
Mức 2: loại bỏ các hydrocarbon hòa tan, hạt carbon hoạt tính; loại bỏ khí hòa tan, các xử lý sinh học, khử trùng... (sử dụng các công nghệ mô tả ở phần trước)	3
Mức trung bình: tái sinh, phòng ngừa ô nhiễm, lọc nhỏ giọt, xây dựng vùng đất ngập nước, ion hóa và loại bỏ, vi lọc, lọc nano (NF), thẩm thấu ngược ở áp suất thấp (RO)… (sử dụng các công nghệ mô tả ở phần trước)	2
Mức cao: lọc áp suất cao, thẩm thấu ngược áp suất cao, vật liệu nhiễm phóng xạ tự nhiên… (sử dụng các công nghệ mô tả ở phần trước)	1

- *Bước 4: Độ bền của công nghệ xử lý*

Một số công nghệ xử lý dựa vào sự kích hoạt tự động của máy bơm và van để vận chuyển chất lỏng, trong khi các công nghệ xử lý khác dựa vào tính năng trọng lực để dẫn tự nhiên dòng chảy. Đây là công nghệ đơn giản hơn, dễ vận hành với giá thành thấp. Phân tích các yếu tố này để phân chia độ bền của công nghệ xử lý:

Thông số độ bền	Phân cấp
Nước vào hệ thống được điều khiển bằng trọng lực không có bộ phận chuyển động, không bị tắc nghẽn và dễ dàng thu hồi cặn, bảo trì theo lịch hoặc theo cảnh báo tự động	4
Chu kỳ tự động đơn giản và rất ít phải điều chỉnh	3
Các chu kỳ tự động hoàn toàn, thỉnh thoảng cần phải hiệu chỉnh và sửa chữa	2
Người vận hành phải có mặt tại hiện trường trong suốt thời gian vận hành thiết bị, việc hiệu chỉnh và sửa thực hiện ngay trong khi vận hành	1

- *Bước 5: Khả năng di chuyển các công nghệ xử lý*

Tính tương thích của các công nghệ xử lý được thực hiện như là các thiết bị di động sẽ mang lại thuận lợi cho xử lý nước khai thác và tính linh hoạt của thiết bị xử lý là điều cần thiết trong hoạt động dầu khí. Nếu các thiết bị xử lý có quy trình khép kín và dễ di chuyển thì các nhà sản xuất có thể sử dụng thiết bị xử lý đó ở bất kỳ địa điểm nào đáp ứng cho quá trình khai thác dầu khí. Có rất nhiều công nghệ xử lý riêng lẻ là những thiết bị dễ dàng di chuyển. Tuy nhiên nếu các công nghệ xử lý này lại cần một quy trình xử lý phụ, khi đó việc xử lý đòi hỏi sự kết hợp các

thiết bị với nhau. Trong trường hợp này công nghệ xử lý được phân loại là có khả năng di chuyển một phần như trong bảng phân cấp sau:

Khả năng di chuyển của các công nghệ xử lý	Phân cấp
Có khả năng di chuyển hoàn toàn	2,0
Có khả năng di chuyển một phần	1,5
Hoàn toàn cố định	1,0

- *Bước 6: Mức độ nhiễm bẩn trong nước thải*

Chất lượng của nước thải cũng góp phần vào hiệu suất tổng thể của công nghệ xử lý. Điều này có thể được xếp hạng như sau:

Mức độ nhiễm bẩn của nước thải	Phân cấp
Thấp: chất rắn lơ lửng, dầu tự do hay phân tán có nồng độ trung bình, nước thải có độ cứng thấp, các loại khí dễ loại bỏ… Tổng chất rắn hòa tan (TDS): < 5.000ppm Tổng chất hữu cơ (TOC), tổng hydrocarbon dầu khí (TPH): < 30ppm	5
Trung bình: amoniac, bo, các ion cứng, BTEX, các khí hòa tan, những hạt dầu nhỏ, các ion kim loại… TDS: 5.000 - 10.000ppm TOC, TPH: > 30 - 100ppm	4
Cao: H_2S, các kim loại nặng, các ion không ổn định, vật liệu nhiễm phóng xạ tự nhiên (NORM), các muối hóa trị 1, các chất hữu cơ nồng độ thấp hòa tan. TDS > 10.000 - 35.000ppm TOC, TPH > 100ppm	3

Bước cuối cùng: Tính toán phân cấp tổng thể dựa trên các tiêu chí đã phân cấp

Công thức được mô tả sau đây dùng để tính toán phân cấp tổng thể. Thứ hạng cao nhất là 7 và thứ hạng thấp nhất là 1. Trên thang điểm 7 là các công nghệ xử lý bậc cao được khẳng định là có hiệu suất tốt, có tính kinh tế và tính linh hoạt cao. Công thức phân cấp tổng thể là:

$$\frac{[(\text{bước 1} + \text{bước 2} + \text{bước 3} + \text{bước 4} + \text{bước 5})]}{\text{bước 6}}$$

Ví dụ, để xử lý nước thải đạt chất lượng tốt (bước 6, xếp cấp 5) dùng công nghệ thẩm thấu ngược (RO) áp suất thấp (bước 2, xếp cấp 4). Việc xử lý sơ bộ lần hai (bước 3, cấp bậc 3) sẽ là đủ trong trường hợp này để đạt được việc loại bỏ > 95% (bước 1, xếp cấp 5) của các chất ô nhiễm. Phương pháp xử lý này có thể được vận hành với một thiết bị xử lý có khả năng di chuyển hoàn toàn (bước 5, cấp bậc 2). Hệ thống thẩm thấu ngược (RO) cần sự quan tâm của người vận hành trong suốt thời gian vận hành (bước 4, xếp cấp 1). Theo công thức phân cấp tổng thể về thang điểm 10 là: (5 + 4 + 3 +1 + 2)/5 = 3 (khác biệt với số 7).

Công thức này chính xác lên đến 1/10.000. Ngay cả sự khác biệt là 0,05 cũng là đáng kể. Bảng dưới đây so sánh hiệu suất của HEROTM (Hệ thống thẩm thấu ngược (RO) hiệu suất cao) và HEEDTM (Hệ thống thẩm tách bằng điện (ED) hiệu suất cao). Kết quả cho thấy, hệ thống thẩm thấu ngược hiệu suất cao (HERO) có hiệu suất thu hồi tốt hơn hệ thống thẩm tách bằng điện hiệu suất cao (HEED).

Chỉ tiêu	HERO - Hệ thống thẩm thấu ngược (RO) hiệu suất cao	HEED - Hệ thống thẩm tách bằng điện (ED) hiệu suất cao
Bước 1: Hiệu suất thu hồi (chất nhiễm bẩn)	5	4
Bước 2: Mức tiêu hao nguồn lực	3	4
Bước 3: Yêu cầu tiền xử lý	3	2
Bước 4: Độ bền của hệ thống xử lý	1	1
Bước 5: Khả năng di chuyển của thiết bị xử lý	2	2
Bước 6: Mức độ nhiễm bẩn của dòng thải	3	3
Xếp hạng tổng thể	4.667	4.333

Sơ đồ phân cấp này đã được sử dụng có hiệu quả trong việc xử lý nước khai thác ở ngành công nghiệp dầu khí của nhiều quốc gia trên thế giới. Tuy nhiên, khi sử dụng sơ đồ phân cấp này cần lưu ý rằng yếu tố quan trọng khi quyết định lựa chọn công nghệ xử lý nước khai thác phù hợp là phải biết yêu cầu sử dụng cuối cùng của nước khai thác sau khi được xử lý.

4. Công nghệ xử lý nước khai thác ở vịnh Mexico và Biển Bắc

Trong bài viết này, nhóm tác giả xin giới thiệu kinh nghiệm được đúc kết từ thực tiễn vận hành các thiết bị xử lý nước khai thác ở 2 khu vực đang khai thác dầu khí biển lớn nhất thế giới hiện nay là ở Biển Bắc và vịnh Mexico. Việc xử lý nước khai thác chủ yếu phải chịu thách thức từ sự dị biệt dầu và nước, sự khác biệt giữa các lớp nước khác nhau ở các vỉa dầu, sự chưa có đột phá riêng trong việc xử lý nước khai thác của công nghệ xử lý, độ muối cao và sự hạn chế không gian để bố trí thiết bị xử lý ở ngoài giàn.

Thiết bị xử lý nước khai thác được thiết kế tùy thuộc vào: khu vực địa lý (nơi sẽ sử dụng thiết bị), sự cân bằng giữa các yêu cầu khác nhau về khả năng ứng dụng hiệu quả thiết bị xử lý, giá thành, mức độ nhỏ gọn và đáp ứng được yêu cầu tiến độ làm việc… Từ thực tế vận hành các thiết bị xử lý nước khai thác khác nhau, John Walsh - Công ty Thăm dò và Khai thác của Shell đã chỉ ra điểm khác biệt của các thiết bị xử lý nước khai thác ở vịnh Mexico và ở Biển Bắc [5].

Thông thường hệ thống xử lý nước khai thác được sử dụng ở Biển Bắc bao gồm hydrocyclone và cấu trúc nổi thẳng đứng, trong khi đó ở vịnh Mexico thường sử dụng hệ thống xử lý nước khai thác gồm hydrocyclone với cấu trúc nổi nhiều nấc nằm ngang. Các hệ thống xử lý nước khai thác ở Biển Bắc đã được phát triển vào giữa những năm 80 của thế kỷ XX. Các nhà khai thác dầu khí đã xác định một hình khối tối ưu của thiết bị xử lý nước khai thác cho phép các hydocyclone có thể tách dầu/nước mà không phải phá vỡ các giọt dầu. Các hệ thống này được thiết kế có thể cắt giảm tới 70% lượng nước với khả năng xử lý nước khai thác nhanh và có thể hồi lưu.

- Công nghệ xử lý nước khai thác ở Biển Bắc có đặc điểm sau:

+ Thiết bị xử lý nước khai thác được thiết kế với khối lượng nặng hơn, to hơn vì được lắp đặt ở vùng nước nông hơn và sử dụng chủ yếu ở các giàn khai thác nổi, kho chứa nổi;

+ Có 3 giai đoạn tách chính;

+ Các hydrocyclone được dùng ở tất cả các bộ tách đầu tiên;

+ Quy trình gia nhiệt được thêm ở giai đoạn đầu của quy trình xử lý nước khai thác;

+ Sử dụng 2 nấc (bước) cấu trúc nổi thẳng đứng;

+ Sử dụng nhiều chất ức chế ăn mòn và sử dụng ít chất lỏng có độ ăn mòn cao;

+ Đa số các thiết bị xử lý nước khai thác ở Biển Bắc khá cũ kỹ.

- Các thiết bị xử lý nước khai thác ở vịnh Mexico có đặc trưng sau:

+ Có tính khả dụng cao do thiết bị xử lý nước khai thác được thiết kế nhỏ, gọn nhẹ, chiếm ít diện tích và không gian khi lắp đặt thiết bị;

+ Tách 2 pha;

+ Các hydrocyclones lắp ở đoạn cuối của quy trình xử lý (áp suất thấp) và chúng không xử lý toàn bộ dòng thải;

+ Bổ sung quá trình gia nhiệt ở giai đoạn cuối của quy trình xử lý;

+ Sử dụng 4 giai đoạn (nấc) nổi nằm ngang.

5. Kết luận

Việc lựa chọn công nghệ xử lý nước khai thác phụ thuộc rất nhiều yếu tố: các đặc tính, chất lượng và nguồn gốc của nước khai thác và mục đích sử dụng nước khai thác sau khi được xử lý. Việc lựa chọn công nghệ xử lý nước khai thác còn phụ thuộc vào các quy định về tiêu chuẩn môi trường của nước sở tại. Trên thị trường hiện có nhiều công nghệ xử lý nước khai thác khác nhau về tính năng, hiệu suất và mức độ tiện dụng… Bài viết này tóm tắt các tính năng chủ yếu, thuận lợi và khó khăn của các công nghệ xử lý nước khai thác hiện có, cũng như khả năng, lĩnh vực áp dụng của nước khai thác sau khi được xử lý... Từ đó, nhóm tác giả giới thiệu quy trình phân cấp mức độ ưu tiên trong việc lựa chọn công nghệ xử lý nước khai thác phù hợp cho từng loại nước khai thác.

Với phương pháp phân cấp công nghệ xử lý nước khai thác, với sự khác biệt về công nghệ xử lý nước khai thác ở Biển Bắc và vịnh Mexico… sẽ là những kinh nghiệm thực tế giúp lựa chọn, áp dụng công nghệ xử lý nước khai thác phù hợp cho các mỏ dầu khí ở Việt Nam hiện nay.

Tài liệu tham khảo

1. ThS. Lê Thị Phượng và các cộng sự. *Xử lý nước thải bằng phương pháp vi sóng điện từ để thu hồi dầu ở thể nhũ tương trong nước thải nhiễm dầu*. 2010.

2. *An integrated framework for treatment and management of produced water.* Technical assessment of produced water treatment technologies 1st Edition - RPSEA Project 07122 - 12. 11/2009.

3. *A time to review the produced water treatment technologies - A time to look forward for new management* - Reza Mastouri* Islamic Azad University, Arak Branch Civil Engineering Faculty, Daneshgah Street Arak, Iran. 2010.

4. *Technical summary of oil & gas produced water treament technologies*. J. Daniel Arthur, P.E.; Bruce G. Langhus, Ph.D., C.P.G.; Chirag Patel - All consulting, LLC, 1718 South Cheyenne Ave., Tulsa, OK 74119 - March 2005.

5. PFC ROUNDUP. *Produced water treatment: Yesterday, today and tomorrow*. Oil and Gas Facilities. 2/2012.

Methods to select produced water treatment technologies in oil and gas industry

Le Thi Phuong
Vietnam Oil and Gas Group
Nguyen Duc Huynh
Vietnam Petroleum Association
Dao Van Tuong
School of Chemical Engineering- Hanoi University of Science and Technology

Summary

Associated produced water is the largest volume waste generated in the upstream oil and gas industry, and may greatly affect the marine environment and ecosystems on land. Produced water treatment technologies worldwide have continually been improved to further enhance the efficiency of this toxic waste treatment. This article analyses the different produced water treatment systems currently being studied and developed, through description of their advantages and disadvantages as well as the scope and field of their application. The efficiency and quality of water treatment technologies are examined using a five-level hierarchical analysis method. This hierarchical scheme is the careful selection of treatment technologies and the determination of treatment criteria to be achieved.