

Quá trình khử sắt trong lòng đất bằng phương pháp lọc động học

Nguyễn Tiên Dũng^{1*}

¹Khoa KTHT&MT Đô Thị, Đại học Kiến trúc Hà Nội

TỪ KHÓA

Xử lý nước cấp
Xử lý nước ngầm
Khử sắt
Nước ngầm
Lọc động học

TÓM TẮT

Trường đại học kỹ thuật Dresden (Đức) đã nghiên cứu quá trình khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất trên mô hình thí nghiệm. Thí nghiệm đã được nghiên cứu theo hai quá trình: khử sắt và tiêu thụ ô xi ngay trong lòng đất. Qua thời gian nghiên cứu và áp dụng thử nghiệm vào thực tế sản xuất đạt kết quả tốt, các nhà chuyên môn đã tổng kết và đánh giá về phương pháp khử sắt mới và đề xuất áp dụng vào thực tế. Chính vì vậy, phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất đã nhanh chóng được đưa vào sản xuất ở Đức và đã đem lại hiệu quả kinh tế cao. Đây là bài học kinh nghiệm của nước ngoài rất bổ ích cho ngành nước của Việt Nam.

KEY WORDS

Supply water treatment
Groundwater treatment
Iron removal
Groundwater

ABSTRACT

The Technical University of Dresden has studied the process of removing iron of groundwater in the ground on the experimental model. The experiment was studied in two processes: removing iron and consuming oxygen right in the ground. Through the time of researching and applying experimentation to the fact that the production achieved good results, the experts have summarized and evaluated the new method of iron removal and the proposal was applied in practice. Therefore, the method of iron removal of underground groundwater was quickly put into production in Germany and brought high economic efficiency. This is a valuable lesson of foreign countries which is very useful for Vietnam's water industry.

1. Đặt vấn đề

Trong nước ngầm thường chứa nhiều sắt, để sử dụng cho các mục đích ăn uống, sinh hoạt và sản xuất thì cần phải tiến hành khử sắt đến giới hạn cho phép. Hiện nay ở Việt Nam cũng như các nước trên thế giới đang sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để khử sắt. Có thể nhóm các phương pháp khử sắt thành ba nhóm như sau: khử sắt bằng phương pháp làm thoáng (cả làm thoáng tự nhiên và cưỡng bức...), khử sắt bằng các phương pháp dùng hóa chất (như dùng các chất ô xi hóa mạnh, dùng vôi...), khử sắt bằng các phương pháp khác (như trao đổi ion, điện phân, vi sinh vật...). Tuy nhiên, tất cả các phương pháp này đều sử dụng công nghệ xử lý sắt trong các công trình sau khi đã bơm nước từ giếng lên.

Khác với tất cả các phương pháp khử sắt hiện có, phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất có công nghệ khử sắt diễn ra hoàn toàn trong lòng đất, ngay trong địa tầng khai thác nước. Phương pháp khử sắt này đã được nhiều nước trên thế giới nghiên cứu và áp dụng từ những năm 1980. Có thể nói các nước Bắc Âu là các nước đi đầu trong lĩnh vực này. Ngay từ đầu, phương pháp này đã được các nhà chuyên môn quan tâm vì những ưu điểm nổi trội của phương pháp. Sau đó, phương pháp khử sắt ngay trong lòng đất lan sang các nước Tây Âu, rồi Đông Âu. Đặc biệt hai nước Đức và Nga là hai nước sớm áp dụng phương pháp khử sắt mới vào thực tế sản xuất và đã mang lại hiệu quả kinh tế cao [1].

Ở Đức, trường đại học kỹ thuật Dresden đã lập mô hình thí nghiệm lọc động học để nghiên cứu quá trình khử sắt và việc tiêu thụ ô xi của nước ngầm ngay trong lòng đất tại quy mô phòng thí nghiệm. Đây là một công trình nghiên cứu khoa học có giá trị [2].

2. Nội dung

2.1. Thí nghiệm lọc động học nghiên cứu quá trình khử sắt trong lòng đất

Việc nghiên cứu quá trình khử sắt trong lòng đất được thực hiện trên mô hình thí nghiệm tại trường đại học kỹ thuật Dresden [2]. Ở đây, các tác giả: H.Reissig, R.Fischer và R.Reimann đã dùng một ống dài 30 cm, trong đó có đựng 890 gam cát (gọi là vùng ô xi hóa) và tiến hành thí nghiệm theo 5 bước sau:

- + Bước 1: Nạp các ion Ca²⁺ cho vùng ô xi hóa
- + Bước 2: Đưa nước có chứa Fe²⁺ vào ống ô xi hóa (ở đây Fe²⁺ được điều chế trong phòng thí nghiệm).
- + Bước 3: Đưa nước có chứa ô xi vào ống ô xi hóa để tiến hành quá trình ô xi hóa Fe²⁺ thành Fe³⁺ kết tủa sau khi được thủy phân Fe³⁺.
- + Bước 4: Nạp tiếp Ca²⁺ cho ống ô xi hóa lần 2.
- + Bước 5: Phân tích hàm lượng Fe³⁺ và Fe²⁺ còn lại trong ống ô xi hóa.

Hàm lượng các chất đưa vào và kết quả thu được sau mỗi bước thí nghiệm được thể hiện trên Hình 1.

Căn cứ vào diễn biến quá trình thí nghiệm và kết quả thu được sau khi phân tích vùng ô xi hóa, các tác giả cho rằng, việc các ion Fe²⁺

*Liên hệ tác giả: dungnguyentien.hau@gmail.com

Nhận ngày 15/06/2022, sửa xong ngày 30/07/2022, chấp nhận đăng 10/01/2023

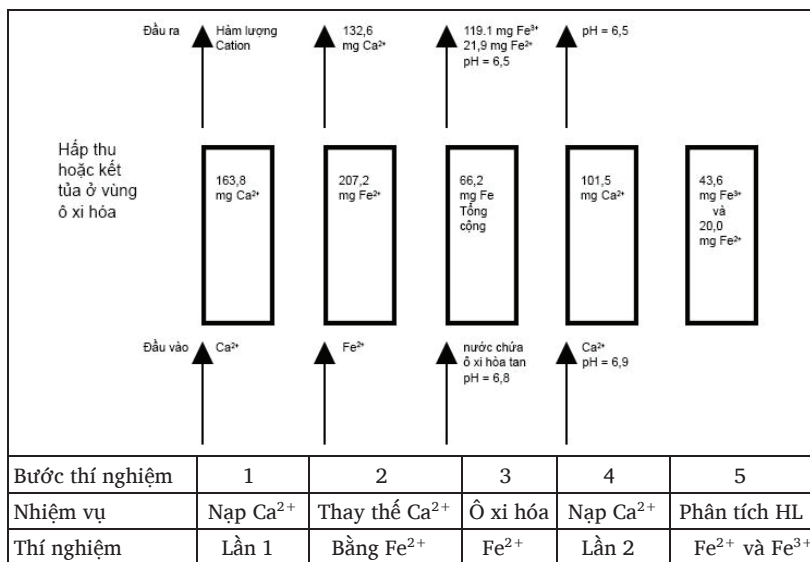
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2023.436>

đẩy các ion Ca^{2+} ra khỏi khoáng vật để thay thế vị trí của chúng khi đưa nước có chứa Fe^{2+} vào ống ô xi hóa ở bước 2 của thí nghiệm là quá trình trao đổi ion với khoáng vật. Sắt Fe^{2+} đưa vào vùng ô xi hóa được phân bố và trao đổi ở vùng chất rắn tương đối đều. Lượng Fe^{2+} được hấp thụ không vượt quá dung lượng trao đổi ion của chất rắn.

Các tác giả còn cho rằng, vì trong thực tế luôn có các ion cạnh tranh, nên thường lượng ion Fe^{2+} được trao đổi thấp hơn dung lượng trao đổi ion của chất rắn. Nước đã làm giàu ô xi đưa vào vùng ô xi hóa, chảy qua các lỗ rỗng của lớp đất chứa nước. Ở đó sắt Fe^{2+} đã hấp thụ trên khoáng vật được ô xi hóa. Lượng ô xi được chuyển hóa

phụ thuộc vào tốc độ của dòng chảy để đưa ô xi đến cho các ion Fe^{2+} đã hấp thụ trên khoáng vật và tốc độ ô xi hóa phụ thuộc vào sự có mặt của các $Fe(OH)_3$ đã kết tủa như một chất xúc tác.

Hiệu quả khử sắt phụ thuộc vào thể tích lớp đất có nước bão hòa ô xi đi qua. Do vậy, cần phải bảo đảm chế độ làm việc khử sắt dưới đất sao cho tầng chứa nước quanh giếng khai thác là liên tục, không bị đứt quãng và có nước bão hòa ô xi đi qua. H. Reissig cho rằng, dùng phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất đối với các giếng có hàm lượng sắt càng cao, càng vấp phải khó khăn về kinh tế và kỹ thuật.



Hình 1. Sơ đồ cân bằng vật chất ở 5 bước thí nghiệm lọc động học nghiên cứu quá trình khử sắt ngay trong lòng đất [2].

H. Reissig giả thiết rằng, nếu 100 % lượng ô xi đưa vào giếng đều được tham gia vào phản ứng ô xi hóa Fe^{2+} và ở điều kiện phân bố lý tưởng, nếu nồng độ ô xi trong nước bão hòa ô xi đưa vào giếng là 10 mg/l O_2 chiếm 10 % thì lượng nước dùng để bão hòa ô xi đưa vào giếng chiếm 10 % tổng lượng nước khai thác khi hàm lượng sắt của nước ngầm không vượt quá 7 mg/l và chiếm 50 % tổng lượng nước khai thác khi hàm lượng sắt của nước ngầm đạt tới 35 mg/l. Những giá trị lý thuyết này không đạt được trong thực tế, vì không có sự phân bố lý tưởng của nước bão hòa ô xi, mà cũng không có sự tham gia phản ứng của 100 % ô xi đưa vào giếng để ô xi hóa Fe^{2+} . Bởi vì một phần ô xi đưa vào giếng đã bị tiêu hao do các quá trình ô xi hóa khác (như sự hô hấp của các vi khuẩn khi có mặt các chất hữu cơ được phân hủy). H. Reissig cho rằng, hệ số hiệu dụng sử dụng ô xi khi đưa nước bão hòa ô xi vào giếng để ô xi hóa Fe^{2+} phải được xác định trực tiếp trên mỗi công trình cụ thể [2].

Để trả lời câu hỏi: “Liệu ở các chu trình lặp lại liên tục có làm giảm hoặc ngăn cản dung lượng trao đổi ion của khoáng vật bởi sự tạo thành $Fe(OH)_3$ kết tủa hay không?”. H.Reissig khẳng định: hoàn toàn có thể phủ định câu hỏi này, vì dung lượng hấp thụ chủ yếu phụ thuộc vào sự trao đổi ion của nước ngầm, dựa vào cấu trúc giữa các tinh thể của khoáng vật. Thậm chí, dung lượng hấp

thụ còn tăng theo thời gian vì $Fe(OH)_3$ kết tủa cũng có khả năng trao đổi ion [2]. Tuy nhiên, các tác giả cũng cho rằng [2], vấn đề này cần giải thích thêm bằng thực nghiệm, vì $Fe(OH)_3$ có tính lưỡng tính, tùy thuộc vào vị trí điểm đẳng điện và độ pH của mà nó có thể là chất trao đổi Cation và Anion. Điểm đẳng điện của $Fe(OH)_3$ lưỡng tính không phải là hằng số, tùy thuộc vào điều kiện tạo thành, độ hóa già và nồng độ các chất điện phân mà nó có giá trị khác nhau. Đối với $Fe(OH)_3$ giá trị này của điểm đẳng điện có thể là tương ứng với pH = 4,5 – 8,5. Theo H.Reissig, R.Fischer, trên điểm này Cation được hấp thụ, dưới điểm này là Anion [2].

2.2. Thí nghiệm lọc động học nghiên cứu quá trình tiêu thụ oxi ngay trong lòng đất

Để nghiên cứu quá trình tiêu thụ ô xi trong lòng đất, các tác giả H. Reissig, A. Gnauck và M. Schwan cũng ở trường đại học kỹ thuật Dresden đã tiến hành thí nghiệm bằng cách đưa nước bão hòa ô xi bằng không khí hoặc bão hòa ô xi bằng không khí nén vào trong ống lọc (đã mô tả ở mục 2).

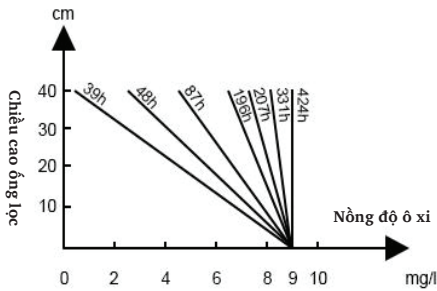
Nồng độ ô xi trong nước thu được ở khí trời là Cr = 9 mg.l O_2 và nồng độ ô xi trong nước trong trường hợp dùng khí nén là Cr

= 37 mg.l O₂. Kết quả thí nghiệm cho cả hai trường hợp được thể hiện trên đồ thị Hình 2 và 3.

Ngoài ra, các tác giả còn đưa ra mô hình hóa toán học các quá trình tiêu thụ ô xi tự nhiên theo hai phương pháp Thống kê và Phân tích.

Dựa vào kết quả thu được ở cả phương pháp thí nghiệm và mô hình toán học, các tác giả cho rằng, khi nước bão hòa ô xi chảy qua tầng chứa nước có Fe²⁺, cùng với sự ô xi hóa Fe²⁺ còn có sự phân hủy sinh hóa các chất hữu cơ đã tích tụ lại trong tầng chứa nước. Sự ô xi hóa Fe²⁺ gắn kết ở chất rắn bằng trao đổi ion, cũng như sự ô xi hóa hợp chất sắt (II) khó tan (các hợp chất sunfit) bằng ô xi hòa tan trong nước là phản ứng không đồng thể [3].

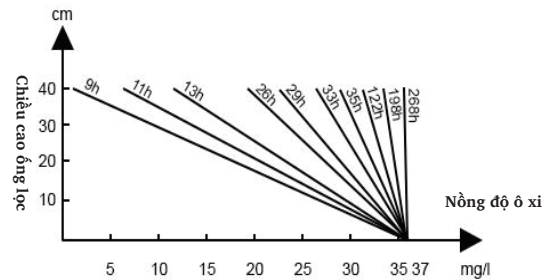
Tốc độ phản ứng dị thể này phụ thuộc vào quá trình vận chuyển ô xi. Phản ứng ô xi hóa chỉ xảy ra ở bề mặt tiếp xúc giữa các pha khi các chất tham gia phản ứng tiếp xúc nhau qua quá trình chuyển chất. Trong đó, sự phân hủy sinh hóa các hợp chất



Hình 2. Sự biến đổi nồng độ ô xi dọc theo ống lọc đối với nước chứa ô xi thu được ở không khí [3].

hữu cơ tích tụ trong tầng chứa nước xảy ra sau và còn kéo dài một thời gian nữa. Phản ứng ô xi hóa Fe²⁺ xảy ra trước và phụ thuộc vào lực gắn kết giữa ion Fe²⁺ và khoáng vật, có phần dễ ô xi hóa, có phần khó ô xi hóa hơn. Do vậy, để xác định tốc độ ô xi hóa xảy ra trong lòng đất khi đưa nước bão hòa ô xi vào, phải tính đến nhiều thành phần phản ứng sử dụng ô xi. Dựa vào kết quả thu được sau thí nghiệm lọc động học nghiên cứu quá trình khử sắt trong lòng đất, các tác giả đã xây dựng đường cong tiêu thụ ô xi trong địa tầng chứa nước và được mô tả trên Hình 4.

Từ các đường cong này, các tác giả khẳng định, trong địa tầng chứa nước có chứa các thành phần tiêu thụ ô xi với tốc độ phản ứng khác nhau. Tốc độ phản ứng ô xi hóa phụ thuộc đồng thời vào nồng độ ô xi của nước và hàm lượng của các thành phần tiêu thụ ô xi trong địa tầng chứa nước. Thành phần tham gia phản ứng ở pha rắn cố định vị trí, còn ô xi hòa tan trong nước vận chuyển tự do.

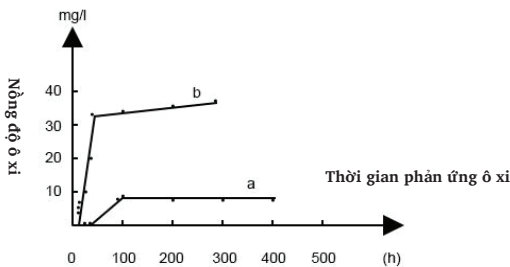


Hình 3. Sự biến đổi nồng độ ô xi dọc theo ống lọc đối với nước chứa ô xi thu được bằng cách bơm khí nén [3].

2.3. Điều kiện ứng dụng vào sản xuất ở Đức

Đức là một trong những nước sớm đưa phương pháp khử sắt mới vào thực tế sản xuất. Ở Đức, người ta xây dựng quy phạm riêng cho việc lắp đặt thiết bị, vận hành và quản lý với các quy trình cụ thể như sau :

- Phương pháp khử sắt trong lòng đất chỉ áp dụng ở các giếng có địa tầng chứa nước liên tục, không có hiện tượng giếng phun.
- Nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn nước ăn uống sinh hoạt đối với giếng có hàm lượng sắt ≤ 15 mg/l, pH ≥ 6, không bị nhiễm bẩn bởi nước thải sinh hoạt và công nghiệp.



Hình 4. Đồ thị tiêu thụ ô xi với chất nền có Fe²⁺ được khử [4].

a. Phương án dùng ô xi của không khí Cr = 9 mg.l O₂

b. Phương án bơm khí nén Cr = 37 mg.l O₂

- Đối với giếng có hàm lượng sắt lớn (≥ 35 mg/l), người ta dùng phương pháp khử sắt dưới đất như là giai đoạn xử lý sơ bộ.
- Phương pháp khử sắt trong lòng đất có thể áp dụng cho trạm xử lý thiết kế mới hoặc thiết kế cải tạo.
- Không gian quanh giếng yêu cầu được cách ly và bảo vệ tối thiểu là 20 m.
- Khi hàm lượng sắt ≤ 10 mg/l dùng ô xi của không khí; khi hàm lượng sắt 10 ≤ Fe²⁺ ≤ 30 mg/l dùng bơm khí nén; 30 ≤ Fe²⁺ ≤ 75 mg/l dùng ô xi kỹ thuật (dưới dạng hóa lỏng).
- Giải pháp đưa nước bão hòa ô xi vào giếng cũng phụ thuộc vào hàm lượng sắt. Khi hàm lượng sắt Fe²⁺ ≤ 15 mg/l đưa nước bão hòa ô xi xuống ở giếng khai thác (gọi là thấm thấu trong). Khi Fe²⁺ lớn hơn 15 mg/l đưa nước bão hòa ô xi xuống bằng các giếng vệ tinh (gọi là thấm thấu ngoài) [4].

3. Kết luận

Qua một thời gian nghiên cứu và áp dụng vào sản xuất, các nhà chuyên môn đã tổng kết và đánh giá về phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất bằng các ưu nhược điểm như sau:

a. Ưu điểm:

- Tiết kiệm chi phí đầu tư, năng lượng và tổng kinh phí quản lý vận hành.
- Giảm cơ bản diện tích đất xây dựng các công trình trên mặt đất.
- Công nghệ khử sắt đơn giản.
- Tuổi thọ làm việc của giếng tăng do loại bỏ được quá trình đóng bám cặn sắt vào trong ống giếng.
- Tiết kiệm lượng nước dùng cho bản thân trạm xử lý.
- Có thể hoàn toàn tự động hóa trong khâu vận hành.

b. Nhược điểm:

- Chi phí cho nghiên cứu khảo sát ban đầu cao.
- Giai đoạn vận hành thử cần có sự giám sát chuyên môn cao và chặt chẽ.
- Đề bảo vệ vùng phản ứng, trong phạm vi bán kính 20 m không được cho khoan các mũi khoan mới.
- Việc kiểm tra không gian phản ứng chỉ có thể thông qua việc khoan thêm các ống quan sát.
- Đối với giếng có hàm lượng sắt quá cao (lớn hơn 35 mg/l) quá trình khử sắt trong lòng đất chưa mang lại hiệu quả triệt để.
- Địa tầng chứa nước là lớp cát, cuội, sỏi phải liên tục, không có hiện tượng giếng phun.

Căn cứ vào thực tế khai thác ở Đức, nhiều nhà chuyên môn cho rằng, phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất hoàn toàn có thể đưa vào sản xuất có hiệu quả. Chính vì vậy, phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất đã nhanh chóng được đưa vào sản xuất ở nước Đức và đã đem lại hiệu quả kinh tế cao.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Ngọc Dung: *Nghiên cứu khả năng ứng dụng phương pháp khử sắt của nước ngầm ngay trong lòng đất đối với các giếng đơn khu vực Hà Nội*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội năm 1995.
- [2]. Nguyễn Văn Tín (2001), *Cấp nước tập 1*, NXB Khoa học Kỹ thuật
- [3]. Trung tâm đào tạo ngành nước và môi trường (2017), *Sổ tay xử lý nước tập 1*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội;
- [4]. Trung tâm đào tạo ngành nước và môi trường (2017), *Sổ tay xử lý nước tập 2*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội;
- [5]. Avijit Mallikl , Md.Arman Arefinl (2019), *Clean Water:Design of an efficient and feasible water treatment plant for rural South-Bengal*;
- [6]. American Water Works Assn (2017), *Water Distribution Operator Training Handbook*.
- [7]. McGraw-Hill (2015), *Urban Water Supply Handbook*.
- [8]. Nicholas G. Pizzi (2014), *Water Treatment Principles and Practices of Water Supply Operations Volume 1*;
- [9]. Word bank (2011), *Rural Water Supply and Sanitation Challenges in Latin America for the Next Decade, Lessons from the "Cusco+10" International Seminar*
- [10]. Nicholas G.Pizzi (2010), *Water Treatment Principles and Practices of Water Supply Operations Volume*;
- [11]. Zahid Amjad (2010), *Science and Technology of Industrial Water Treatment*;
- [12]. Hach Company (2008), *Water Analysis Handbook, 5th*;
- [13]. Ondeo-Degremont (2002), *Water treatment handbook*;
- [14]. Mc. Graw - Hill Inc, Second Edition (1992), *Water treatment plant design*;
- [15]. Mc. Graw - Hill, Sixth Edition (1991), *Degremont water treatment hand book*.