Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption
Tạp chí xúc tác và hấp phụ Việt Nam

https://jca.edu.vn

Tổng hợp vật liệu Fe,Al-bentonite và ứng dụng trong hấp phụ rhodamine B

Synthesis of Fe,Al-bentonite and its application in rhodamine B adsorption

Nguyễn Lê Mỹ Linh[1,*]

[1] *Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế, 34 Lê Lợi – Thành phố Huế*
** Email: nlmlinh@hueuni.edu.vn*

ARTICLE INFO

Received: 28/03/2024
Accepted: 21/05/2024
Published: 30/06/2025

Keywords:
Fe; Al pillared bentonite; Rhodamine B; Langmuir isotherm; adsorption kinetics.

ABSTRACT

This work describes the synthesis and characterization of Fe, Al pillared bentonite and its application in Rhodamine B adsorption. The materials were prepared using different ratio $n_{OH^-}/(n_{Fe^{3+}} + n_{Al^{3+}})$ of Fe, Al pillaring solution. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD). The results showed the insertion of aluminium and iron pillaring cations into clay interlayer space with an increase of d_{001} value compared with that of Wyoming bentonite. The Rhodamine B adsorption data was analyzed by both Freundlich and Langmuir isotherm models and the data was well fit by the Langmuir isotherm model. The maximum adsorption capacity of Rhodamine B over Fe,Al-bentonite derived from the Langmuir equation were 63.69 mg.g^{-1}. Kinetic data correlated well with the pseudo-second-order kinetic model.

Giới thiệu chung

Bentonite với thành phần chủ yếu là sét smectit với cấu trúc lớp 2:1, có cấu trúc mao quản, bề mặt riêng, dung lượng trao đổi ion lớn, độ bền cơ học và hóa học cao… nên nó được sử dụng làm xúc tác trong các phản ứng hóa học, chất hấp phụ, chất trao đổi ion, chất mang… Để cải thiện đặc tính, chất lượng của bentonite nhằm mở rộng ứng dụng của chúng, các nghiên cứu tập trung vào biến tính bentonit với nhiều kĩ thuật khác nhau. Các hướng nghiên cứu trên thế giới có thể kể ra là: tổng hợp bentonite trụ chống bằng các kim loại, oxide kim loại với các phương pháp khác nhau [1-6], tổng hợp vật liệu sét hữu cơ bằng cách hữu cơ hóa bentonite…[7-12].

Bentonite trụ chống được tổng hợp bằng cách trao đổi trực tiếp các cation ở khoảng giữa các lớp của bentonite với các ion phức kim loại chuyển tiếp. Các cation phức oxo hoặc hydroxo kim loại đa nhân (polynuclear metal oxo-hydroxo cations) thường thu được bằng cách thủy phân muối kim loại ở pH xác định. Chỉ có giới hạn một số các kim loại như Fe, Al, Cr, Ti, Zr, Ga mới tạo được dạng polycation bền [7]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng biến tính bentonite bằng kim loại (Fe, Al) hoặc polyoxocation kim loại (Fe, Al) thu được sản phẩm có khoảng cách lớp tăng, diện tích bề mặt lớn, tính axit được cải thiện và số lượng tâm hoạt động tăng…[13-16]. Do đó, bentonite biến tính với các cation iron hay aluminium được sử dụng nhiều trong hấp phụ cũng như xúc tác.

Trong nghiên cứu này, bentonite Wyoming được chèn chống đồng thời cation aluminium và iron bằng phương pháp trao đổi ion. Vật liệu thu được dùng làm chất hấp phụ Rhodamine B. Động học hấp phụ và đẳng nhiệt hấp phụ Rhodamine B trên vật liệu Fe,Al-bentonite cũng sẽ được thảo luận.

https://doi.org/10.62239/jca.2025.016

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất

$AlCl_3$ (Guang Zhou, Trung Quốc), NaOH (Xilong, Trung Quốc), $FeCl_3.6H_2O$, NaOH (Xilong, Trung Quốc) (Xilong, Trung Quốc), bentonite Wyoming (Mỹ), Rhodamine B (Merck).

Tổng hợp vật liệu

Quy trình tổng hợp Fe,Al-bentonite như sau:

- Tổng hợp dung dịch trụ chống: Cho từ từ từng giọt cho đến hết *V* mL dung dịch NaOH 0,1 mol.L^{-1} vào hỗn hợp chứa 100 mL dung dịch $Al(NO_3)_3$ 0,1 mol.L^{-1} và 20 mL dung dịch $FeCl_3$ 0,1 mol.L^{-1}, khuấy hỗn hợp bằng máy khuấy từ với tốc độ 700 vòng/phút ở nhiệt độ phòng. Tiếp theo, đun cách thủy hỗn hợp ở 70 °C trong 5 giờ, sau đó để hỗn hợp ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ thu được dung dịch trụ chống.

- Tạo huyền phù bentonite: Hoà tan 1,0 gam bentonite Wyoming (Mỹ) vào 100 mL nước cất, khuấy mạnh trên máy khuấy từ với tốc độ 700 vòng/phút trong 30 phút ở nhiệt độ phòng được dung dịch dạng huyền phù.

- Tổng hợp Fe,Al-bentonite: Cho từ từ dung dịch trụ chống vào huyền phù bentonite, tiến hành khuấy bằng máy khuấy từ với tốc độ 700 vòng/phút ở nhiệt độ phòng. Sau khi hết dung dịch trụ chống, tiếp tục khuấy trong 5 giờ ở nhiệt độ phòng thu được huyền phù Fe,Al-bentonite. Để huyền phù này trong 24 giờ, sau đó li tâm, lọc rửa sản phẩm bằng nước cất nhiều lần và sấy khô bằng máy sấy ở nhiệt độ 80 °C.

Trong nghiên cứu này, 3 yếu tố ảnh hưởng đến qúa trình tổng hợp vật liệu đã được khảo sát:

- Ảnh hưởng của tỉ lệ mol $OH^-/(Al^{3+}+Fe^{3+})$: cố định nồng độ bentonite 1,0 %, nhiệt độ tạo dung dịch trụ chống 70 °C, thay đổi tỉ lệ mol *x* = 0,4; 0,6.

- Ảnh hưởng của thời gian khuấy hỗn hợp dung dịch trụ chống với dung dịch bentonite: cố định nồng độ bentonite 1,0 %, tỉ lệ mol $OH^-/(Al^{3+}+Fe^{3+})$ 0,58, thay đổi thời gian khuấy 5 giờ, 10 giờ, 24 giờ.

- Ảnh hưởng của nhiệt độ tạo dung dịch trụ chống: cố định nồng độ bentonite 1,0 %, tỉ lệ mol $OH^-/(Al^{3+}+Fe^{3+})$ 0,58, thời gian khuấy 5 giờ, thay đổi nhiệt độ tạo dung dịch trụ chống 60 °C, 70 °C, 80 °C.

Các mẫu tổng hợp được kí hiệu: FeAl-MMT-x-y-z. Trong đó x, y, z lần lượt là tỉ lệ mol $OH^-/(Al^{3+}+Fe^{3+})$, thời gian khuấy hỗn hợp dung dịch trụ chống với huyền phù bentonite và nhiệt độ tạo dung dịch trụ chống.

Thành phần pha của vật liệu được nghiên cứu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (D8 Advanced Bucker, Đức) với tia phát xạ CuK_α.

Nghiên cứu sự hấp phụ Rhodamine B trên vật liệu Fe,Al – bentonite

Lựa chọn chất hấp phụ:

Cho vào mỗi cốc 50 mL dung dịch Rhodamine B với nồng độ 10 mol.L^{-1}. Thêm vào mỗi cốc 0,01 gam bentonite Wyoming hoặc các mẫu vật liệu Fe,Al-bentonite tổng hợp được, đậy kín và khuấy bằng máy khuấy từ tốc độ 600 vòng/phút ở nhiệt độ phòng trong 4 giờ. Sau khi cân bằng thiết lập, ly tâm loại bỏ chất rắn lấy phần chất lỏng. Nồng độ dung dịch Rohdamine B còn lại được xác định bằng phương pháp UV – VIS ở bước sóng λ = 553 nm.

Nghiên cứu động học của quá trình hấp phụ Rhodamine B trên vật liệu Fe,Al–bentonite.

Cho 0,1 gam chất hấp phụ Fe,Al-bentonite vào cốc thủy tinh chứa 250 mL dung dịch Rhodamine B có nồng độ C_o (mg/L) : 10; 20; 30; 40; 50. Khuấy dung dịch bằng máy khuấy từ với tốc độ 600 vòng/ phút và xem đây là thời gian bắt đầu quá trình hấp phụ. Sau những khoảng thời gian xác định 10, 20, 30, 60, 120, 240 phút, dùng pipet lấy 5 mL dung dịch đem ly tâm lấy phần lỏng xác định nồng độ còn lại của Rhodamine B ở các thời gian đó.

Nghiên cứu đẳng nhiệt hấp phụ Rohdamine B trên vật liệu Fe, Al–bentonite:

Cho 0,01 gam vật liệu Fe,Al-bentonite vào cốc thủy tinh chứa 20 mL dung dịch Rohdamine B có nồng độ khác nhau 50 mg/L ; 30 mg/L; 20 mg/L; 10 mg/L. Tiến hành khuấy trong 4 giờ, tốc độ 600 vòng/phút ở nhiệt độ phòng. Sau khi cân bằng thiết lập, ly tâm loại bỏ chất rắn lấy phần chất lỏng. Nồng độ dung dịch Rohdamine B còn lại được xác định bằng phương pháp UV - VIS.

Kết quả và thảo luận

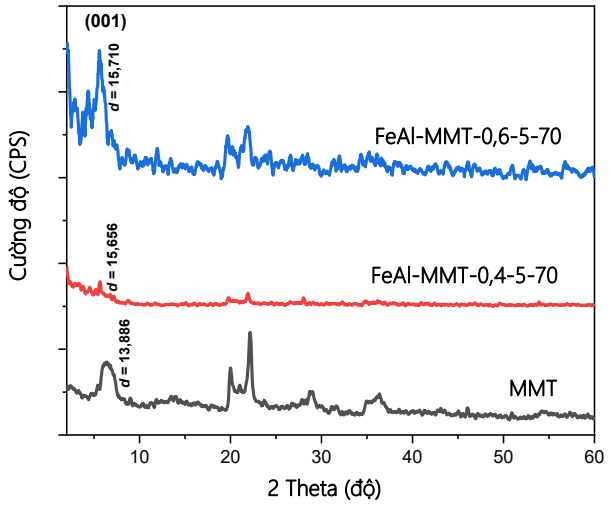
Tổng hợp vật liệu Fe,Al-bentonite

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$, thời gian và nhiệt độ tổng hợp dung dịch trụ chống đến cấu trúc của Fe,Al-bentonite đã được khảo sát.

Ảnh hưởng của tỉ lệ mol $OH^-/(Al^{3+}+Fe^{3+})$

Hình 1 là giản đồ XRD của mẫu bentonite Wyoming (Mỹ) và các mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ khác nhau.

https://doi.org/10.62239/jca.2025.016



Hình 1: Giản đồ XRD của mẫu bentonite Wyoming (MMT) các mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ khác nhau.

Từ hình 1 nhận thấy mẫu bentonite Wyoming có phổ XRD gồm các peak đặc trưng:

- 2θ = 6,4 là peak đại diện cho mao quản (khoảng cách d_{001} giữa các lớp), d_{001} = 13,886 Å.
- 2θ = 21,01° và 26,74° đại diện cho thạch anh (quartz).
- 2θ = 12,16° và 24,6° đại diện cho cao lanh (kaolinite).

Như vậy, trong bentonite Wyoming, ngoài montmorillonite (MMT) còn có các khoáng tạp chất thạch anh và cao lanh.

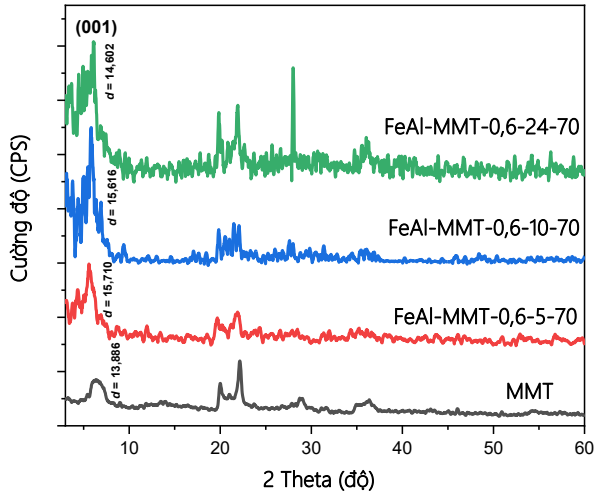
Vật liệu Fe,Al-bentonite được tổng hợp phương pháp trao đổi ion. Phương pháp này gồm 2 giai đoạn: (1) điều chế các cation polyhydroxy aluminium và polyhydroxy iron thông qua quá trình thủy phân cation Fe^{3+}, Al^{3+} trong môi trường kiềm, (2) chèn các cation này vào khoảng giữa các lớp của bentonite. Sự thủy phân cation Fe^{3+}, Al^{3+} (Me^{3+}) trong môi trường kiềm sẽ thu được các cấu tử chính trong dung dịch tạo ra trụ chống: các cation hydrat Me^{3+}, cation monomer Me, cation polymer Me, cation oligomer Me_{13} ...[4, 13, 14] Sự phân bố các cation này trong bentonite tùy thuộc vào điều kiện thủy phân ion Me^{3+}, tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$, thời gian, nhiệt độ ...

Từ hình 1 nhận thấy rằng khoảng cách không gian d_{001} tăng lên sau khi chèn các cation polyhydroxy aluminium và polyhydroxy iron vào khoảng giữa các lớp của bentonite, cụ thể d_{001} của các mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ 0,4, 0,6 lần lượt là 15,656 và 15,710 Å. Tuy vậy, mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ 0,4 có peak đặc trưng của mặt phẳng (001) có cường độ yếu so với mẫu bentonite ban đầu, trong khi đó mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ 0,6 có cường độ mạnh hơn rõ rệt. Như vậy, khi tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ lớn, quá trình chèn các cation polyhydroxy aluminium và iron vào bentonite là thuận tiện hơn nên cấu trúc lớp của vật liệu trật tự hơn.

Từ khảo sát này, chúng tôi chọn tỉ lệ mol x = $OH^- / (Al^{3+} + Fe^{3+})$ = 0,6 cho những nghiên cứu tiếp theo.

Ảnh hưởng của thời gian khuấy

Hình 2 là giản đồ XRD của các mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở các thời gian khuấy hỗn hợp dung dịch trụ chống với dung dịch bentonite khác nhau: 5 giờ, 10 giờ và 24 giờ.



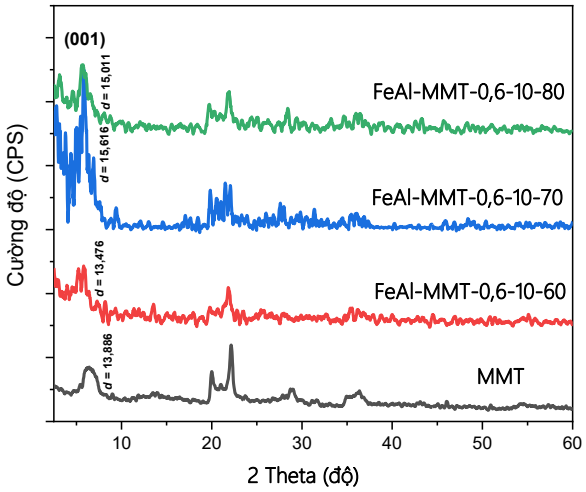
Hình 2: Giản đồ XRD của các mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở các thời gian khuấy khác nhau.

So sánh với mẫu MMT, các mẫu vật liệu FeAl-bentonite có cường độ peak ở mặt phản xạ (001) đều lớn hơn chứng tỏ quá trình chèn các tiểu phân cation kim loại vào bentonite khá đồng đều, trong đó mẫu vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70 (khuấy ở thời gian 10 giờ) có cường độ peak lớn nhất, do đó mẫu này có cấu trúc lớp trật tự nhất trong các mẫu khảo sát. Khoảng cách không gian d_{001} của các mẫu Fe,Al-bentonite đều lớn hơn mẫu MMT ban đầu, chứng tỏ các cation aluminium và iron đã chèn vào khoảng giữa các lớp của MMT. Kết quả này tương tự như những công bố khác [17]. Từ kết quả này, thời gian khuấy 10 giờ được chọn cho tổng hợp vật liệu Fe,Al-bentonite tiếp theo.

Ảnh hưởng của nhiệt độ

Hình 3 là giản đồ XRD của các mẫu Fe,Al-bentonite tổng hợp ở các nhiệt độ khác nhau: 60 °C, 70 °C và 80 °C.

https://doi.org/10.62239/jca.2025.016



Hình 3: Giản đồ XRD của các mẫu MMT, Fe,Al-bentonite tổng hợp ở các nhiệt độ khác nhau

Từ hình 3 nhận thấy, trong số các mẫu vật liệu Fe,Al – bentonite khảo sát, mẫu FeAl-MMT-0,6-10-70 tương ứng với nhiệt độ tổng hợp 70 °C có cường độ peak lớn nhất, như vậy mẫu này có cấu trúc lớp trật tự khi chèn các tiểu phân cation kim loại vào bentonite. Khoảng cách không gian d_{001} giữa các lớp trong 3 mẫu là khác nhau tùy thuộc vào nhiệt độ khảo sát. Trong đó, vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70 có d_{001} lớn nhất. Như vậy, ở điều kiện nhiệt độ 70°C là phù hợp để tổng hợp vật liệu.

Từ kết quả thực nghiệm thu được về tổng hợp vật liệu Fe,Al-bentonite nhận thấy cấu trúc của vật liệu Fe,Al-bentonite phụ thuộc vào tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$, thời gian khuấy và nhiệt độ. Vật liệu Fe,Al-bentonite có cấu trúc lớp trật tự và khoảng cách cơ bản d_{001} lớn nhất thu được trong điều kiện: tỉ lệ mol $n_{OH^-}/n_{Me^{3+}}$ 0,6, thời gian và nhiệt độ thực hiện quá trình biến tính là 10 giờ và 70 °C.

Nghiên cứu sự hấp phụ Rhodamine B trong dung dịch nước trên vật liệu Fe,Al-bentonite

Lựa chọn chất hấp phụ

Để lựa chọn đối tượng nghiên cứu hấp phụ, chúng tôi tiến hành khảo sát sơ bộ về khả năng hấp phụ Rhodamine B của bentonite Wyoming và bentonite biến tính trong điều kiện như nhau: nồng độ Rhodamine B 10 mg/L, khối lượng chất hấp phụ 0,01 g, nhiệt độ phòng.

Kết quả cho thấy hiệu suất hấp phụ Rhodamine B của mẫu vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70 là cao nhất (81,6 %), sau đó lần lượt là các mẫu FeAl-MMT-0,6-10-80 (60,4 %), FeAl-MMT-0,6-5-70 (55,2 %), FeAl-MMT-0,6-10-60 (45,3 %), FeAl-MMT-0,6-24-70 (43,6 %). Trong các mẫu FeAl-bentonite khảo sát, mẫu FeAl-MMT-0,6-10-70 có khoảng cách không gian d_{001} lớn và cấu trúc lớp trật tự nhất nên có thể đây là các yếu tố thuận lợi cho sự hấp phụ Rhodamine B hơn các mẫu khác. So với các mẫu bentonite biến tính, mẫu bentonite Wyoming có khả năng hấp phụ thấp nhất (21,3 %). Như vậy, sự có mặt thêm các cation aluminium và cation iron làm tăng khả năng hấp phụ Rohdamine B. Để làm rõ thêm yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ Rhodamine B, mẫu FeAl-MMT-0,6-10-70 và bentonite ban đầu được đặc trưng thêm bởi phương pháp hấp phụ – khử hấp phụ nitrogen. Kết quả thu được diện tích bề mặt của mẫu FeAl-MMT-0,6-10-70 và bentonite ban đầu lần lượt là 150,1 m^2/g và 84,2 m^2/g, cho thấy việc chèn các cation aluminium và cation iron vào bentonite cải thiện đáng kể diện tích bề mặt của vật liệu ban đầu, và do đó làm tăng khả năng hấp phụ Rhodamine B của vật liệu FeAl-MMT. Trên cơ sở khảo sát sơ bộ sự hấp phụ Rhodamine B trên các mẫu bentonite biến tính, mẫu FeAl-MMT-0,6-10-70 được lựa chọn cho những nghiên cứu hấp phụ tiếp theo.

Động học của quá trình hấp phụ

Mô hình động học của quá trình hấp phụ

Để xác định phương trình động học mô tả quá trình hấp phụ Rhodamine B trên vật liệu Fe,Al-bentonite, chúng tôi sử dụng phương trình động học biểu kiến bậc 1 và bậc 2:

- Phương trình động học biểu kiến bậc nhất:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1.t \qquad (1)$$

- Phương trình động học biểu kiến bậc hai:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2.q_e^2} + \frac{1}{q_e}.t \qquad (2)$$

Trong đó, q_e và q_t ($mg.g^{-1}$) là dung lượng hấp phụ (DLHP) ở thời điểm cân bằng và thời điểm t bất kỳ, k_1 ($phút^{-1}$), k_2 ($g.mg^{-1}.phút^{-1}$) là các hằng số.

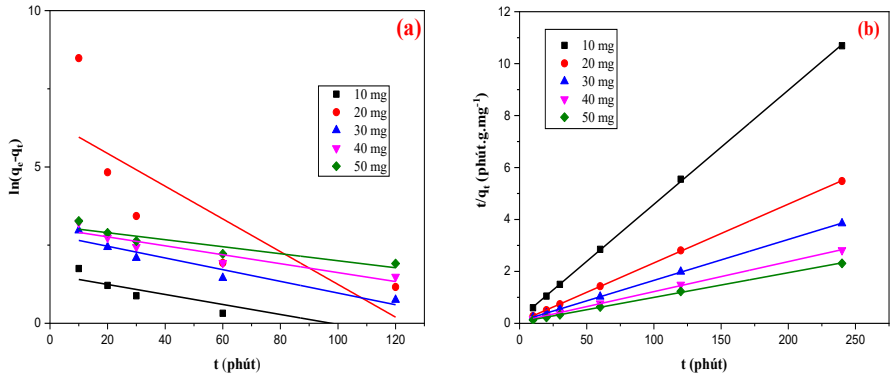
Dung lượng hấp phụ q_t được tính theo phương trình:

$$q_t = \frac{(C^o - C_t).V}{m}(mg/g) \qquad (3)$$

Trong đó: C_o và C_t (mg/L) là nồng độ dung dịch Rohdamine B ở thời điểm ban đầu và thời điểm t, V (L) là thể tích dung dịch Rohdamine, m (g) là khối lượng chất hấp phụ (Fe,Al-bentonite).

Trong nghiên cứu này, nồng độ Rhodamine B ban đầu được thay đổi từ 10 mg/L đến 50 mg/L. Hình 4a và 4b biểu diễn đồ thị của mô hình động học biểu kiến bậc 1 và bậc 2 của sự hấp phụ Rhodamine B ở các nồng độ đầu khác nhau trên vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70.

https://doi.org/10.62239/jca.2025.016



Hình 4: Động học hấp phụ biểu kiến bậc 1 (a) và bậc 2 (b) của sự hấp phụ Rohdamine B trên vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70

Dựa vào giá trị R^2 và sự khác biệt q_e tính toán theo hai mô hình động học bậc 1 và 2 so với q_e thực nghiệm (Bảng 1), mô hình động học bậc 2 mô tả quá trình hấp phụ Rohdamine B trên vật liệu FeAl-MMT-0,58-5-70 tốt hơn mô hình động học bậc 1. Từ bảng 1 nhận thấy giá trị k_2 giảm theo nồng độ của chất hấp phụ nhưng dung lượng hấp phụ lại tăng lên. Kết quả này tương tự như công bố của Mei-Fang Hou và cộng sự [19], nồng độ đầu càng cao thì tốc độ hấp phụ giảm. Điều này có thể được giải thích như sau: xét cùng khối lượng chất hấp phụ nghĩa là số tâm hấp phụ như nhau, trong cùng thời gian hấp phụ, số phân tử Rhodamine B hấp phụ trên bề mặt chất hấp phụ khi nồng độ đầu thấp sẽ ít hơn so với trường hợp nồng độ đầu cao, do đó tốc độ hấp phụ sẽ nhanh hơn. Biết rằng, Rhodamine B có kích thước phân tử lớn nên sự hấp phụ Rhodamine B phải xảy ra ở trong mao quản trung bình, không thể xảy ra giữa các khe rãnh giữa các lớp FeAl-MMT-0,6-10-70.

Bảng 1: Các tham số của phương trình động học biểu kiến bậc 1, bậc 2 của sự hấp phụ Rohdamine B ở các nồng độ đầu khác nhau trên vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70.

C_o (mg/l)	q_e (tn) (mg/g)	Phương trình động học bậc 1			Phương trình động học bậc 2		
		k_1 (phút^{-1})	q_e (tt) (mg/g)	R^2	k_2 (mg/g.phút)	q_e (tt) (mg/g)	R^2
10	22,46	0,0160	4,77	0,882	$9,99.10^{-3}$	22,78	0,999
20	43,81	0,0524	51,25	0,646	$7,88.10^{-3}$	44,25	0,999
30	62,33	0,0187	17,08	0,922	$3,12.10^{-3}$	63,29	0,999
40	85,12	0,0143	21,11	0,878	$1,94.10^{-3}$	86,96	0,999
50	104,1	0,0112	22,70	0,859	$1,81.10^{-3}$	105,26	0,999

q_e (tn) là dung lượng hấp phụ cân bằng tính theo nồng độ đầu và nồng độ cân bằng.
q_e (tt) là dung lượng hấp phụ cân bằng tính theo phương trình động học.

Đẳng nhiệt hấp phụ

Cân bằng hấp phụ đẳng nhiệt của Rhodamine B trên bentonite Wyoming và FeAl-MMT-0,6-10-70 được mô phỏng theo hai mô hình Langmuir và Freundlich.

Mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{\max}} + \frac{1}{K_L.q_{\max}} \qquad (4)$$

Mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Freundlich dạng tuyến tính:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n}.\ln C_e \qquad (5)$$

Trong đó, q_e (mg/g) là DLHP ở thời điểm cân bằng; q_{max} (mg/g) là DLHP cực đại; K_L (L/mg) là hằng số cân bằng hấp phụ theo Langmuir; C_e là nồng độ chất bị hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mg/g); K_F (mg/g) và n là các hằng số Freundlich.

Hình 5a và 5b trình bày đường đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich dạng tuyến tính của quá trình hấp phụ Rohdamine B trên bentonite Wyoming và FeAl-MMT-0,6-10-70.

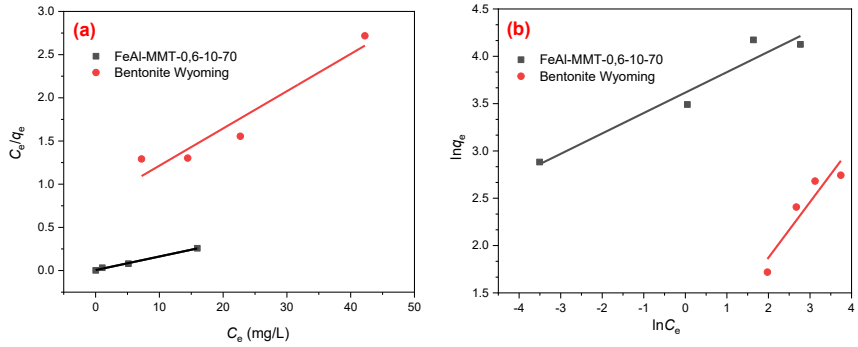
Các thông số đẳng nhiệt hấp phụ thu được như sau:

- Mô hình Langmuir: FeAl-MMT-0,6-10-70: q_{max} : 63,69 mg/g; K_L : 2,8 L/mg; R^2: 0,996; Bentonite Wyoming: q_{max} : 23,20 mg/g; K_L : 0,56 L/mg; R^2: 0,923.

- Mô hình Freundlich: FeAl-MMT-0,6-10-70: K_F: 37,22 mg/g; n: 4,64; R^2 : 0,939; Bentonite Wyoming: K_F: 2,07 mg/g; n: 1,70; R^2 : 0,872.

https://doi.org/10.62239/jca.2025.016

Từ hình 5 và các thông số đẳng nhiệt hấp phụ nhận thấy rằng giá trị R^2 của mô hình Langmuir lớn hơn so với mô hình Freundlich, do đó mô hình Langmuir phù hợp với các số liệu thực nghiệm hơn. Như vậy, sự hấp phụ Rhodamine B trên vật liệu FeAl-MMT-0,6-10-70 là đơn lớp. Dung lượng hấp phụ Rhodamine B cực đại (q_{max}) của bentonite ban đầu và vật liệu tổng hợp tính được từ mô hình Langmuir lần lượt là 23,20 và 63,69 mg/g. Như vậy việc chèn thêm các ion cation aluminium và cation iron làm tăng khả năng đáng kể dung lượng hấp phụ Rhodamine B.



Hình 5: Đường đẳng nhiệt Langmuir (a) và Freundlich (b) dạng tuyến tính của quá trình hấp phụ Rhodamine B trên bentonite Wyoming và FeAl-MMT-0,6-10-70

Kết luận

Vật liệu Fe,Al–bentonite được tổng hợp bằng phương pháp trao đổi ion. Vật liệu Fe,Al-bentonite có khoảng cách không gian d_{001} và diện tích bề mặt tăng so với MMT ban đầu, chứng tỏ các cation aluminium và iron đã chèn vào khoảng giữa các lớp của MMT. Quá trình hấp phụ Rhodamine B của vật liệu Fe,Al-bentonite tuân theo phương trình động học biểu kiến bậc 2. Đẳng nhiệt hấp phụ tuân theo mô hình Langmuir, dung lượng hấp phụ Rhodamine B cực đại tính theo phương trình Langmuir của bentonite biến tính là 63,69 mg/g. Kết quả này cho thấy vật liệu Fe,Al-bentonite là một vật liệu tiềm năng trong việc xử lí chất ô nhiễm.

Tài liệu tham khảo

1. H.L. Del Castillo, P. Grange, Appl. Catal. A, 103(1) (1993) 23-34. https://doi.org/10.1016/0926-860X(93)85170-T
2. H. Faghihian, M.H. Mohammadi, Appl. Surf. Sci., 264(1) (2013) 492-499. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.10.050
3. L. Malvim, Y. Zhou, B. Wood, L. Zhouwang, V. Rudolph, Environ. Sci. Technol., 43(1) (2009) 538-543. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6670-4_5
4. Z. Qin, P. Qin, J. Zhu, H. He, D. Liu, S. Yang, Appl. Clay Sci., 50(4) (2010) 546-553. https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.10.011
5. R.T. Yang, J.P. Chen, E.S. Kikkinides, L.S. Cheng, J.E. Cichanowicz, Ind. Eng. Chem. Res., 31(6) (1992) 1440-1445. https://doi.org/10.1016/s1001-0742(12)60331-3
6. G.K. Zhang, X.M. Ding, F.S. He, X.Y. Yu, J. Zhou, Y.J. Hu, J.W. Xie, Langmuir, 24(3) (2008) 1026-1030. https://doi.org/10.1021/la702649v
7. H. He, J. Duchet, J. Galy, J.F. Gerard, J. Colloid Interface Sci., 288(1) (2005) 171-176. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.02.092
8. H. He, L. Ma, J. Zhu, R.L. Frost, B.K.G. Theng, F. Bergaya, Appl. Clay Sci., 100(1) (2014) 22-28. https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.02.008
9. N.N. Herrera, J.-M. Letoffe, J.-L. Putaux, L. David, E. Bourgeat-Lami, Langmuir, 20(5) (2004) 1564-1570. https://doi.org/10.1021/la0349267
10. Z. Hu, G. He, Y. Liu, C. Dong, X. Wu, W. Zhao, Appl. Clay Sci., 75(1) (2013) 134-140. https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.03.004
11. A. Khenifi, Z. Bouberka, F. Sekrane, M. Kameche, Z. Derriche, Adsorption, 13(2) (2007) 149-158. https://doi.org/10.1007/s10450-007-9016-6
12. G. Lagaly, A. Weiss, Proc. Int. Clay Conf., 1 (1969) 61-80.
13. L. Ma, J. Zhu, H. He, Q. Tao, R. Zhu, W. Shen, B.K.G. Theng, Appl. Clay Sci., 101(1) (2014) 327-334. https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.08.023
14. V. Lenoble, O. Bouras, J. Colloid Interface Sci., 255(1) (2002) 52-58. https://doi.org/10.1006/jcis.2002.8646
15. T. Mishra, K. Parida, Appl. Catal. A, 166(1) (1998) 123-133. https://doi.org/10.1016/S0926-860X(97)00247-0
16. W.Y. Lee, R.H. Raythatha, B.J. Tatarchuk, J. Catal., 115(1) (1989) 159-179. https://doi.org/10.1016/0021-9517(89)90016-X
17. P. Banković, A. Milutinović-Nikolić, Z. Mojović, N. Jović-Jovičić, M. Žunić, V. Dondur, D. Jovanović, Appl. Clay Sci., 58(1) (2012) 73-78. https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.01.015
18. P. Wu, W. Wu, S. Li, N. Xing, N. Zhu, P. Li, J. Wu, C. Yang, Z. Dang, J. Hazard. Mater., 169(1-3) (2009) 824-830. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.022
19. M.F. Hou, C.X. Ma, W.D. Zhang, J.Y. Tang, Y.N. Fan, H.F. Wan, J. Hazard. Mater., 186(1) (2011) 1118-1123. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.110