

Đánh giá về các yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng tắc màng trong hệ thống MBR

Evaluation of the impact of membrane fouling in the MBR

Nguyễn Thị Mỹ Hạnh

Tóm tắt

So với công nghệ xử lý bằng bùn hoạt tính truyền thống, bể phản ứng sinh học dạng màng (MBR) có nhiều ưu điểm như chất lượng nước thải tốt, diện tích công trình nhỏ, năng suất bùn dư thấp và dễ dàng điều khiển tự động. Đó là công nghệ đầy triển vọng trong việc xử lý và tái sử dụng nước thải. Tuy nhiên, có nhiều nguyên nhân gây nên gây nên hiện tượng tắc màng và đó cũng là trở ngại lớn nhất đối với việc ứng dụng rộng rãi MBR. Bài báo này nhằm mục đích tóm tắt các các yếu tố ảnh hưởng đến sự bám bẩn của màng bao gồm các yếu tố về thuộc tính của màng, các đặc tính của hỗn hợp bùn hoạt tính và các yếu tố vận hành. Bài báo cũng đồng thời tổng hợp các biện pháp kiểm soát hiện tượng tắc màng nhằm có cái nhìn tổng quan trong việc ứng dụng công nghệ MBR trong xử lý nước thải.

Từ khóa: MBR, xử lý nước thải, màng lọc sinh học, yếu tố ảnh hưởng, hiện tượng tắc màng lọc

Abstract

Compared with the traditional activated sludge treatment technology, the membrane bioreactor (MBR) has many advantages such as good wastewater quality, small construction area, low residual sludge yield, and easy control. automatic. It is a promising technology in wastewater treatment and reuse. However, membrane fouling is the biggest obstacle to the widespread application of MBR. This paper aims to summarize the factors affecting the fouling of the membrane including those of the membrane properties, the properties of the activated sludge mixture, and the operating factors. The paper also shows solutions to control membrane fouling in order to have an overview of the application of MBR technology in wastewater treatment.

Key words: MBR, wastewater treatment, membrane, impact factors, membrane fouling

TS. Nguyễn Thị Mỹ Hạnh

Bộ môn Công nghệ nước,

Khoa Kỹ thuật hạ tầng và môi trường đô thị, ĐT:

0919776168

Email: hanhpro77@gmail.com

Ngày nhận bài: 24/6/2021

Ngày sửa bài: 15/10/2021

Ngày duyệt đăng: 21/7/2023

1. Giới thiệu

Công nghệ xử lý sinh học dạng màng (MBR) kết hợp cả xử lý sinh học và phân tách vật lý (sử dụng màng lọc) các chất ô nhiễm khác nhau để xử lý chất thải lỏng sinh hoạt và công nghiệp. Do sự kết hợp của các quy trình nêu trên, nước thải sau xử lý MBR có chất lượng cao hơn so với quy trình bùn hoạt tính thông thường. MBR vận hành đơn giản khi sử dụng những người vận hành có kinh nghiệm, tạo ra ít bùn hơn và yêu cầu diện tích công trình nhỏ. Những ưu điểm nêu trên, cùng với giá thành vật liệu màng ngày càng giảm và yêu cầu ngày càng khắt khe về chất lượng nước thải sau xử lý, đồng nghĩa với việc công nghệ MBR ngày càng được ứng dụng rộng rãi hơn trong xử lý nước thải. Tuy nhiên, việc bám bẩn màng sẽ ảnh hưởng đến dòng hoạt động và tuổi thọ của màng. Một khi sự tắc nghẽn màng xảy ra, nó sẽ làm giảm thông lượng thẩm thấu, tăng áp suất cấp liệu, giảm năng suất, tăng thời gian ngừng hoạt động của hệ thống, tăng chi phí vận hành và bảo trì màng do làm sạch màng, và giảm tuổi thọ của các mô-đun màng. Có nhiều yếu tố gây ra hiện tượng tắc màng, bao gồm vật liệu của mô-đun màng, chênh lệch áp suất qua màng trong quá trình lọc, vận tốc dòng chảy chéo, thời gian lưu thủy lực (HRT), thời gian lưu bùn (SRT),... Các yếu tố này đơn lẻ hoặc kết hợp với nhau tạo ra các điều kiện cho sự tắc nghẽn của màng, hoặc góp phần trực tiếp hoặc gián tiếp vào việc làm bẩn màng. Hiểu và nắm vững ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến sự tắc nghẽn màng là điều cần thiết để ngăn ngừa, kiểm soát và dự đoán sự tắc nghẽn của màng.

2. Các dạng tắc của màng lọc MBR

Hiện tượng tắc màng MBR có thể do các nguyên nhân: (i) thu hẹp lỗ màng; (ii) sự hấp phụ của chất tan trong dung dịch bởi màng; (iii) sự lắng đọng của bông bùn trên bề mặt màng; và (iv) sự nén chặt của lớp cặn lọc trên bề mặt màng.

Tắc màng có thể được phân loại thành tắc nghẽn bên trong, tắc nghẽn bên ngoài và tắc nghẽn phân cực nồng độ. Sự tắc nghẽn gây ra bởi sự lắng đọng cũng như sự hấp phụ của các chất hòa tan và các hạt keo ở bên trong các lỗ màng được gọi là sự tắc nghẽn bên trong. Sự lắng đọng của các hạt, chất keo và đại phân tử trên bề mặt màng được gọi là sự bám bẩn bên ngoài. Sự bám bẩn bên ngoài tạo thành lớp bám bẩn trên bề mặt màng. Lớp bám bẩn có thể được phân loại là lớp gel hoặc lớp bánh. Lớp gel được hình thành do sự lắng đọng của các đại phân tử, chất keo và các chất hòa tan vô cơ trên bề mặt của màng do sự chênh lệch áp suất giữa các mặt thức ăn và chất thấm của màng. Lớp bánh được hình thành do sự tích tụ của chất rắn trên bề mặt màng. Sự phân cực nồng độ đề cập đến sự tích tụ các chất hòa tan và ion trong lớp chất lỏng mỏng tiếp giáp với bề mặt màng, là một hiện tượng cổ hữu trong quá trình lọc màng. Sự phân cực nồng độ làm tăng sức cản dòng chảy và giảm thông lượng màng.

Thông thường, tắc nghẽn màng được chia thành tắc nghẽn thuận nghịch và tắc nghẽn không thuận nghịch tùy theo mức độ loại bỏ chất bẩn. Bám bẩn thuận nghịch đề cập đến phần chất bẩn có thể được loại bỏ bằng các biện pháp vật lý như rửa ngược hoặc hoạt động gián đoạn của màng dưới quá trình lọc dòng chảy chéo. Bám bẩn không thuận nghịch đề cập đến việc bám bẩn cần làm sạch bằng hóa chất và không thể loại bỏ bằng cách làm sạch vật lý.

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng tắc màng lọc

3.1. Ảnh hưởng của các thuộc tính của màng

Các đặc tính bên trong của màng có ảnh hưởng đến sự bám bẩn của màng bao gồm vật liệu, tính ưa nước/kỵ nước, điện tích bề mặt, độ nhám, kích thước lỗ, độ xốp và cấu trúc của mô-đun màng.

Ảnh hưởng của vật liệu màng

Màng được sử dụng phổ biến chủ yếu được phân loại thành màng hữu cơ, màng gốm và màng kim loại. Màng hữu cơ được sử dụng rộng rãi nhất do có chi phí thấp, tuy nhiên, chúng có sức bền không cao cũng như tuổi thọ ngắn. So với màng hữu cơ, màng gốm và màng kim loại có (i) tính chất cơ học tốt hơn, (ii) khả năng chịu nhiệt độ cao, và (iii) thông lượng cao; tuy nhiên, hai vật liệu này rất khó chế tạo và đắt tiền.

Ảnh hưởng của tính ưa nước / tính kỵ nước

Tính ưa nước/kỵ nước của vật liệu màng có ảnh hưởng lớn đến hiệu suất chống bám bẩn của màng. Màng ưa nước ít bị ảnh hưởng bởi sự hấp phụ, có thông lượng màng lớn hơn và có đặc tính chống bám bẩn vượt trội so với màng kỵ nước. Người ta cho rằng nước thô có chứa các chất hữu cơ ưa nước gây ra hiện tượng tắc nghẽn màng nghiêm trọng [6]. Tính ưa nước/kỵ nước của màng thường chỉ có ảnh hưởng đáng kể đến sự bám bẩn của màng ở giai đoạn đầu của quá trình lọc.

Ảnh hưởng của điện tích bề mặt màng

Khi điện tích bề mặt màng có cùng điện tích của các chất ô nhiễm trong nước, nó có thể cải thiện sự nhiễm bẩn bề mặt màng và tăng lưu lượng màng. Giá trị tuyệt đối của mật độ điện, thế zeta và mật độ điện tích tăng lên cùng với sự gia tăng của trạng thái hóa trị cation hoặc anion. Chênh lệch áp suất hoạt động và nồng độ của dung dịch chất lỏng càng cao thì vận tốc của dòng chảy và ảnh hưởng của trạng thái hóa trị của các ion càng giảm. Cation có cùng trạng thái hóa trị có ảnh hưởng lớn hơn đến hiệu suất điện tích của màng so với các anion [15].

Ảnh hưởng của kích thước lỗ màng, sự phân bố và cấu trúc của màng

Khi kích thước lỗ của màng tăng lên, chênh lệch áp suất xuyên màng của màng tăng nhanh [2]. Kích thước lỗ màng càng nhỏ, sự tăng chênh lệch áp suất xuyên màng càng chậm, thời gian chu kỳ làm sạch màng càng dài, kích thước lỗ màng càng lớn, tắc nghẽn màng càng nghiêm trọng và thời gian chu kỳ làm sạch màng càng ngắn. Tuy nhiên, do độ xấp bề mặt màng cao và cấu trúc lỗ xấp dạng mạng đan xen sợi, (i) màng có thể được làm sạch hiệu quả, (ii) hiệu suất của màng có thể được phục hồi sau khi làm sạch màng, (iii) thông lượng của màng bị thay đổi rất ít.

Ảnh hưởng của độ xấp và độ nhám

Độ xấp và độ nhám của màng cũng có tác động tiềm tàng đến hành vi bám bẩn của màng. Nói chung, độ xấp càng lớn thì áp suất xuyên màng càng nhỏ. Tuy nhiên, khi độ xấp thay đổi thì tính chất bề mặt của màng như độ nhám cũng thay đổi theo. Điều này làm thay đổi khả năng hấp phụ các chất bẩn trên bề mặt màng. Màng hữu cơ có độ xấp của màng thường cao hơn màng vô cơ, nhưng thông lượng thường thấp hơn màng vô cơ. Khi độ nhám bề mặt màng lớn thì càng dễ bị bám bẩn [7].

Ảnh hưởng của cấu trúc mô-đun màng

Mô-đun màng là cốt lõi của công nghệ lọc màng. Có thể thấy rằng trong cùng một điều kiện hoạt động, điều kiện dòng chảy của bể phản ứng sinh học màng với thành phần màng được đặt thẳng đứng là tốt hơn, và hiệu ứng cắt của dòng hai pha khí - lỏng được tạo ra bởi sức khí mạnh hơn nhiều so với màng được đặt ngang.

3.2. Ảnh hưởng của các điều kiện vận hành

Các điều kiện hoạt động ảnh hưởng đến sự tắc nghẽn màng bao gồm thông lượng màng, TMP, sức khí, SRT, HRT

và nhiệt độ.

Ảnh hưởng của thông lượng màng và áp suất xuyên màng

Trong hoạt động lọc màng, thông lượng màng và áp suất xuyên màng là hai đại lượng ảnh hưởng qua lại với nhau [3]. Nếu áp suất xuyên màng tăng hoặc giảm, thông lượng màng sẽ thay đổi theo (tăng hoặc giảm). Vận hành MBR với áp suất xuyên màng tới hạn làm tăng sự bám bẩn của màng. Giảm áp suất xuyên màng ban đầu có thể làm giảm tắc nghẽn màng và làm chậm tốc độ suy giảm thông lượng màng [9].

Ảnh hưởng của sức khí

Sức khí không chỉ cung cấp oxy cần thiết cho quá trình trao đổi chất của bùn hoạt tính mà còn rửa sạch bề mặt màng, tránh lắng đọng các chất ô nhiễm và làm chậm quá trình bám bẩn của màng. Khi cường độ sức khí tăng đến một mức độ nhất định, sự hấp phụ lỗ màng, sự tắc nghẽn và sức cản của lớp gel màng trở thành lực cản chính của màng và tốc độ bám bẩn tăng lên [4].

Ảnh hưởng của SRT và HRT

SRT có thể ảnh hưởng đến MLSS (hỗn hợp chất rắn lơ lửng lỏng), thành phần bùn và các thông số khác là những điều kiện hoạt động quan trọng ảnh hưởng đến tỷ lệ tắc nghẽn màng trong MBR. HRT có ảnh hưởng gián tiếp đến sự bám bẩn của màng, đầu tiên là thay đổi thông lượng của màng và làm thay đổi trạng thái lọc màng, ảnh hưởng đến tốc độ bám bẩn của màng. HRT càng ngắn thì áp suất xuyên màng càng lớn và làm trầm trọng thêm hiện tượng tắc nghẽn màng, không có lợi cho hoạt động ổn định lâu dài của MBR kỵ khí [13].

Ảnh hưởng của nhiệt độ

Sự thay đổi nhiệt độ ảnh hưởng đến hoạt động của enzym, tốc độ truyền khối và hoạt tính vi sinh vật của vi sinh vật kỵ khí. Việc tăng nhiệt độ sẽ làm giảm độ nhớt của hỗn hợp chất lỏng trong MBR, (i) tăng khả năng hòa tan của các hạt lơ lửng, (ii) tăng hệ số khuếch tán truyền khối, (iii) thúc đẩy chuyển động của chất tan trên bề mặt màng thành dung dịch khối, (iv) giảm độ dày của lớp phân cực nồng độ, để cải thiện vận tốc dòng chảy chéo, và (v) tăng thông lượng của màng.

3.3. Ảnh hưởng của đặc tính của hỗn hợp bùn hoạt tính

Ảnh hưởng của MLSS

Trong điều kiện tốc độ dòng chảy của nước được giữ không đổi, khi nồng độ khối lượng của bùn tăng lên, độ nhớt của chất lỏng hỗn hợp cũng tăng, gây tắc nghẽn màng nghiêm trọng, dẫn đến giảm độ xấp của màng, do đó làm tăng khả năng lọc và tăng áp suất xuyên màng [11]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng nồng độ khối lượng bùn càng cao thì khả năng cản trở quá trình lọc của màng càng lớn.

Ảnh hưởng của độ nhớt bùn

Độ nhớt của dung dịch càng lớn thì khả năng chịu ứng suất bên ngoài hoặc lực cắt càng lớn. Chất lỏng hỗn hợp có độ nhớt cao làm cho các bông cặn dễ dàng bám vào bề mặt của màng, do đó làm tăng tốc độ bám bẩn của màng, đồng thời làm giảm tốc độ dòng khí-lỏng được tạo ra bởi quá trình sức khí cũng như hình thành hiệu ứng cắt trên bề mặt màng. Độ nhớt quá cao của hỗn hợp bùn làm tăng khả năng cặn bám trên bề mặt màng, do đó làm tăng tốc độ bám bẩn của màng. Nghiên cứu của Hu và cộng sự cho thấy rằng bùn có độ nhớt cao không dễ làm sạch sau khi bị hấp phụ lên bề mặt màng, dẫn đến khả năng thu hồi thông lượng của màng kém [8].

Ảnh hưởng của vi sinh vật

Judd và cộng sự [10] phát hiện ra rằng vi khuẩn dạng sợi đóng một vai trò cực kỳ quan trọng trong việc gây tắc màng trong quá trình hoạt động của MBR. Quá nhiều hoặc quá ít vi khuẩn dạng sợi có thể gây tắc màng nghiêm trọng. Các bông bùn thiếu vi khuẩn dạng sợi tương đối mịn, dễ gây tắc lỗ màng nghiêm trọng, bùn hoạt tính chứa quá nhiều vi khuẩn dạng sợi sẽ tạo thành lớp bánh lọc dày và chắc, làm tăng khả năng lọc.

4. Một số biện pháp kiểm soát hiện tượng tắc màng

4.1. Tối ưu hóa các mô-đun màng

Các yếu tố cần được xem xét trong việc tối ưu hóa mô-đun màng là hình dạng của mô-đun màng, vị trí của mô-đun, điều kiện thủy lực, đường kính và chiều dài cũng như độ kín của các sợi rỗng. Việc giảm đường kính của lỗ thông khí và việc tăng số lượng lỗ thông khí có thể thúc đẩy sự phân bố đồng đều của dòng chảy hai pha khí-lỏng và vận tốc pha lỏng, cũng như ứng suất cắt vách và. Phương pháp Box-Behnken có thể được sử dụng để tối ưu hóa thủy lực của mô-đun màng. Nhiều thông số như đường kính ống vào, chiều dài ống vào, chiều cao màng, chiều dài ống đầu ra, góc nghiêng đầu vào và đầu ra ... có thể được sử dụng làm các biến trong thiết kế thí nghiệm [5].

4.2. Thêm chất đông tụ hoặc chất hấp phụ vào nước thải đầu vào

So với muối đơn phân tử, muối cao phân tử có thể cung cấp nhiều điện tích dương hơn và trung hòa điện các hạt lơ lửng trong chất lỏng, điều này có thể cải thiện tốc độ loại bỏ các hạt lơ lửng và tăng đường kính của các hạt. Thêm chất hấp phụ, ví dụ như than hoạt tính dạng bột (PAC) vào MBR, có thể kiểm soát hiệu quả sự phát triển của tắc màng, làm chậm tốc độ tăng áp suất xuyên màng và kéo dài chu kỳ hoạt động của màng. Zeolit cũng có thể là một chất hấp phụ hiệu quả. Zeolit có thể hấp phụ một phần các hạt bùn và làm giảm khả năng tắc của màng. Tuy nhiên, nếu Zeolit nhiều quá mức, nó sẽ được hấp phụ lên bề mặt của màng và làm tăng khả năng tắc màng.

4.3. Kiểm soát các điều kiện hoạt động

Các điều kiện hoạt động chính của MBR là thông lượng màng, áp suất vận hành, sức khí, thời gian bơm và chu kỳ làm sạch. Một biện pháp thường được sử dụng trong MBR là kiểm soát thông lượng màng bên dưới thông lượng tới hạn màng hoặc hoạt động thông lượng bền vững. Thông lượng của màng và sức cản của màng có mối quan hệ rất lớn với lực cắt của màng do dòng khí gây ra. Trong một phạm vi nhất định, thông lượng của màng sẽ tăng lên cùng với sự gia tăng của quá trình sức khí. Khi lượng sức khí đạt đến một ngưỡng, thông lượng sẽ không thay đổi, và khi tốc độ dòng sức khí tăng hơn nữa, thông lượng màng sẽ giảm. Điều này là do một lượng sức khí quá nhiều sẽ phá vỡ các hạt lơ lửng đã keo tụ, làm cho kích thước hạt của các hạt lơ lửng nhỏ hơn và dễ gây tắc các lỗ xốp của màng. Hút ngắt quãng cũng là một biện pháp hữu hiệu để kiểm soát tắc nghẽn màng [12].

4.4. Làm sạch màng

Làm sạch màng có thể loại bỏ và kiểm soát hiệu quả sự bám bẩn của màng, giảm áp suất xuyên màng và khôi phục thông lượng màng.

Làm sạch vật lý

Làm sạch vật lý chủ yếu loại bỏ các chất bẩn trong bề mặt màng hoặc các lỗ màng và các phương pháp chủ yếu bao gồm sức khí, rửa ngược (không khí hoặc dịch lọc), siêu âm, chà bọt biển và rửa nước. Làm sạch vật lý cho phép MBR hoạt động với lưu lượng tương đối ổn định mà không gây ra ô nhiễm thứ cấp, nhưng yêu cầu làm sạch thường xuyên với chi phí vận hành tăng.

Làm sạch bằng hóa chất

Làm sạch bằng hóa chất được yêu cầu khi làm sạch vật lý không đáp ứng các yêu cầu về bám bẩn của màng. Các tác nhân hóa học thường được sử dụng bao gồm chất làm sạch kiềm, chất làm sạch axit, chất làm sạch oxy hóa và chất hoạt động bề mặt. Bốn yếu tố chính cần xem xét khi làm sạch bằng hóa chất là: nồng độ của chất làm sạch, nhiệt độ làm sạch, thời gian tiếp xúc và độ bền cơ học của màng.

(xem tiếp trang 97)

Tài liệu tham khảo

1. Ali, S.M.; Kim, J.E.; Phuntsho, S.; Jang, A.; Choi, J.Y.; Shon, H.K., "Forward osmosis system analysis for optimum design and operating conditions", *Water Res.*, 145(2018): 429–441.
2. Aslam, M.; Lee, P.H.; Kim, J., "Analysis of membrane fouling with porous membrane filters by microbial suspensions for autotrophic nitrogen transformations", *Sep. Purif. Technol.*, 146 (2015): 284–293.
3. Deng, L.J.; Guo, W.S.; Huu, H.N.; Zhang, H.W.; Wang, J.; Li, J.X.; Xia, S.Q.; Wu, Y., "Biofouling and control approaches in membrane bioreactors", *Bioresour. Technol.*, 221 (2016): 656–665.
4. Deng, L.J.; Guo, W.S.; Huu, H.N.; Du, B.; Wei, Q.; Ngoc, H.T.; Nguyen, C.N.; Chen, S.S.; Li, J.X., "Effects of hydraulic retention time and biofloculant addition on membrane fouling in a sponge-submerged membrane bioreactor", *Bioresour. Technol.*, 210 (2016): 11–17.
5. Drews, A., "Membrane fouling in membrane bioreactors: characteristics, contradictions, causes and cures", *J. Membr. Sci.*, 363(2010): 1–28.
6. Gao, W.J.; Lin, H.J.; Leung, K.T.; Liao, B.Q., "Influence of elevated pH shocks on the performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor", *Process Biochem.*, 45 (2010): 1279–1287.
7. Hale, O.; Recep, K.D.; Mustafa, E.E.; Cumali, K.; Spanjers, H.; Lier, J.B.V., "A review of anaerobic membrane bioreactors for municipal wastewater treatment: Integration options, limitations and expectations", *Sep. Purif. Technol.*, 118(2013): 89–104.
8. Hu, Y.S.; Wang, X.C.; Yu, Z.Z.; Ngo, H.H.; Sun, Q.Y.; Zhang, Q.H., "New insight into fouling behavior and foulants accumulation property of cake sludge in a full-scale membrane bioreactor", *J. Membr. Sci.*, 510 (2016): 10–17.
9. Ji, L.; Zhou, J.T.; Zhang, X.H., "Influence of influent composition on membrane fouling in membrane bioreactors", *Environ. Sci.*, 28 (2007): 18–23.
10. Judd, S.J., "The status of industrial and municipal effluent treatment with membrane bioreactor technology", *Chem. Eng. J.*, 305(2016): 37–45.
11. Li, S.F.; Cui, C.W.; Huang, J., "Effect of extracellular polymeric substances on membrane fouling of membrane bioreactor", *J. Harbin Inst. Technol.*, 39 (2007): 266–269.
12. Li, Y.Y.; Zhao, Y.H.; Yang, J., "Influence of adding zeolite on membrane filtration resistance in MBR and its decolorizing effect", *China Water Wastewater*, 24 (2008): 49–51.
13. Long, X. Y., T. R. Long, and R. Tang. "SRT on components and surface characters of extracellular polymeric substances." *China Water Wastewater*, 24 (2008): 1–6.
14. Xie, Y.H.; Zhu, T.; Xu, C.H., "Research progress in influence factors on membrane fouling in membrane bioreactor", *Chem Eng. (CHINA)*, 38 (2010): 26–31.
15. Wu, N.P.; Kong, X.Y.; Fang, S., "Study on the application of MBR technology in the recycling of micro-polluted surface water", *Membr. Sci. Technol.*, 36 (2016): 103–108.