

CHƯƠNG 2

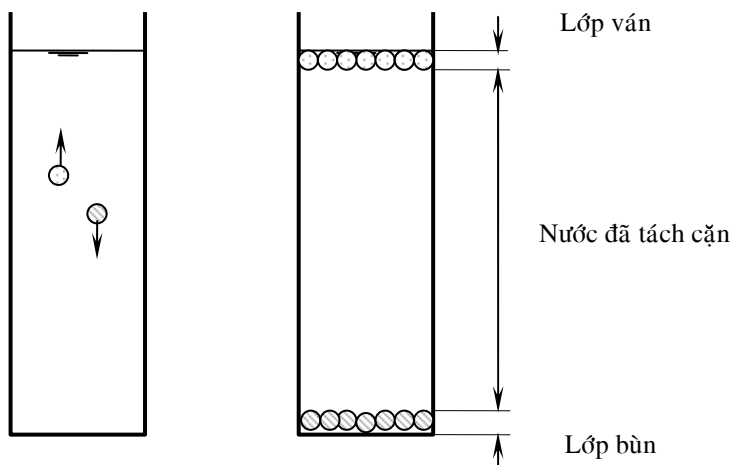
CƠ SỞ CÁC QUÁ TRÌNH XỬ LÝ LÝ HỌC

2.1 QUÁ TRÌNH LẮNG

2.1.1 GIỚI THIỆU CHUNG

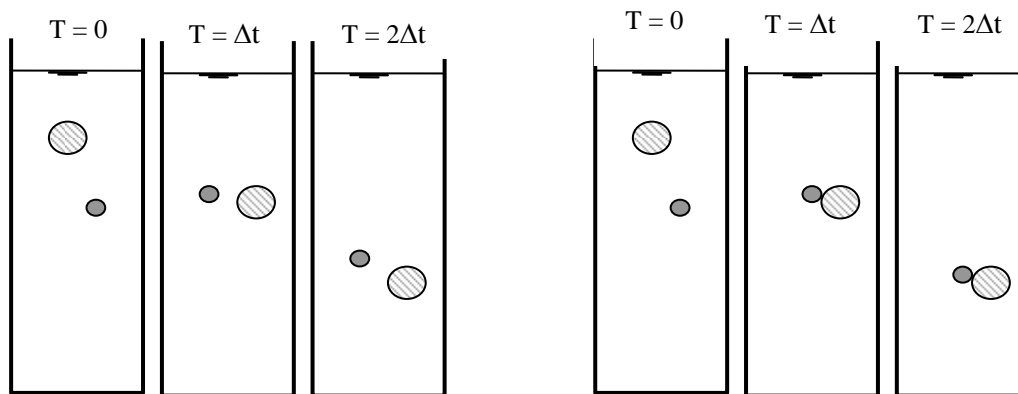
Quá trình lắng và tuyển nổi là các quá trình tách các hạt cặn lơ lửng (phân tích bằng chỉ tiêu SS (mg/L) hoặc độ đục (FTU)) khỏi nước.

Quá trình tách loại này thường xảy ra sau một khoảng thời gian lưu nước nhất định trong bể có điều kiện thích hợp cho quá trình lắng đối với hạt nặng hơn nước, hoặc quá trình tuyển nổi đối với hạt nhẹ hơn nước.



Hình 2.1 Quá trình lắng và tuyển nổi.

Theo nồng độ và khuynh hướng tương tác giữa các hạt, có 4 dạng lắng được phân biệt như sau: lắng độc lập, lắng tạo bông, lắng cản trở và lắng trong vùng nén. Lắng độc lập và lắng tạo bông thường xảy ra khi hàm lượng cặn lơ lửng tương đối thấp. Lắng cản trở và nén xảy ra khi nồng độ cặn lơ lửng cao. Trong thực tế xử lý nước cấp và nước thải, 4 dạng lắng này thường xảy ra ở dạng phối hợp, nhưng khi thiết kế bể lắng, hai dạng lắng độc lập và lắng tạo bông đóng vai trò quyết định.



Hình 2.2 Lắng đọng lập và lắng tạo bông.

2.1.2 ỨNG DỤNG THỰC TẾ

Quá trình lắng được sử dụng rộng rãi trong xử lý nước. Trong lĩnh vực *cấp nước*, quá trình này được ứng dụng để xử lý nước ngầm và nước mặt.

- Xử lý nước ngầm

- * Tách loại bông cặn ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) sau khi oxi hóa Fe (II) thành Fe (III);
- * Xử lý nước đã dùng trong quá trình rửa lọc.

- Xử lý nước mặt

- * Lắng là quá trình xử lý sơ bộ trước khi lọc nhanh và lọc chậm;
- * Keo tụ/ tạo bông/ lắng là quá trình xử lý sơ bộ trước khi lọc nhanh;
- * Xử lý nước rửa lọc nhằm cô đặc cặn bùn từ thiết bị lọc.

- Trong xử lý nước thải, quá trình lắng thường dùng để:

- * Lắng cát (tách cát từ nước cống);
- * Lắng cặn lơ lửng trong bể lắng đợt 1;
 - * Lắng bông cặn sinh học trong bể lắng đợt 2, ví dụ sau bể bùn hoạt tính hoặc bể lọc nhỏ giọt;
- * Lắng bông cặn hóa học từ quá trình keo tụ.

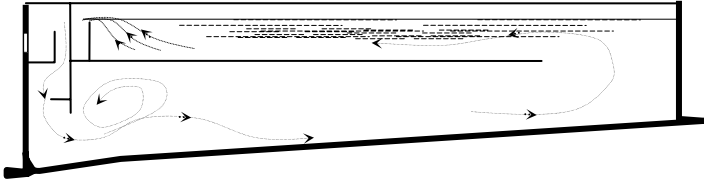
Bể tự hoại về cơ bản là một bể lắng trong đó quá trình phân hủy kỵ khí xảy ra sau khi lắng bùn.

2.1.3 CÁC LOẠI BỂ LẮNG

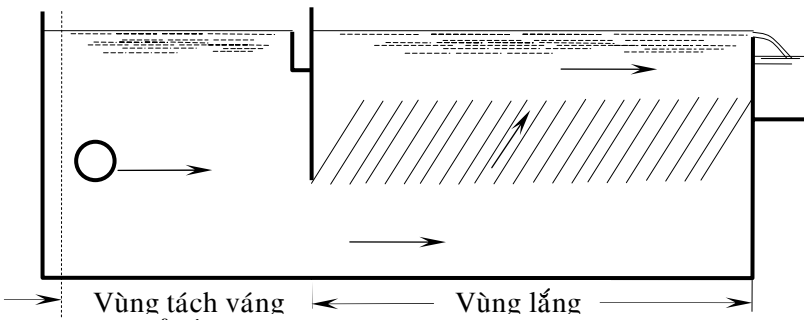
Các dạng bể lắng thông dụng nhất gồm có:

- Bể lắng ngang;

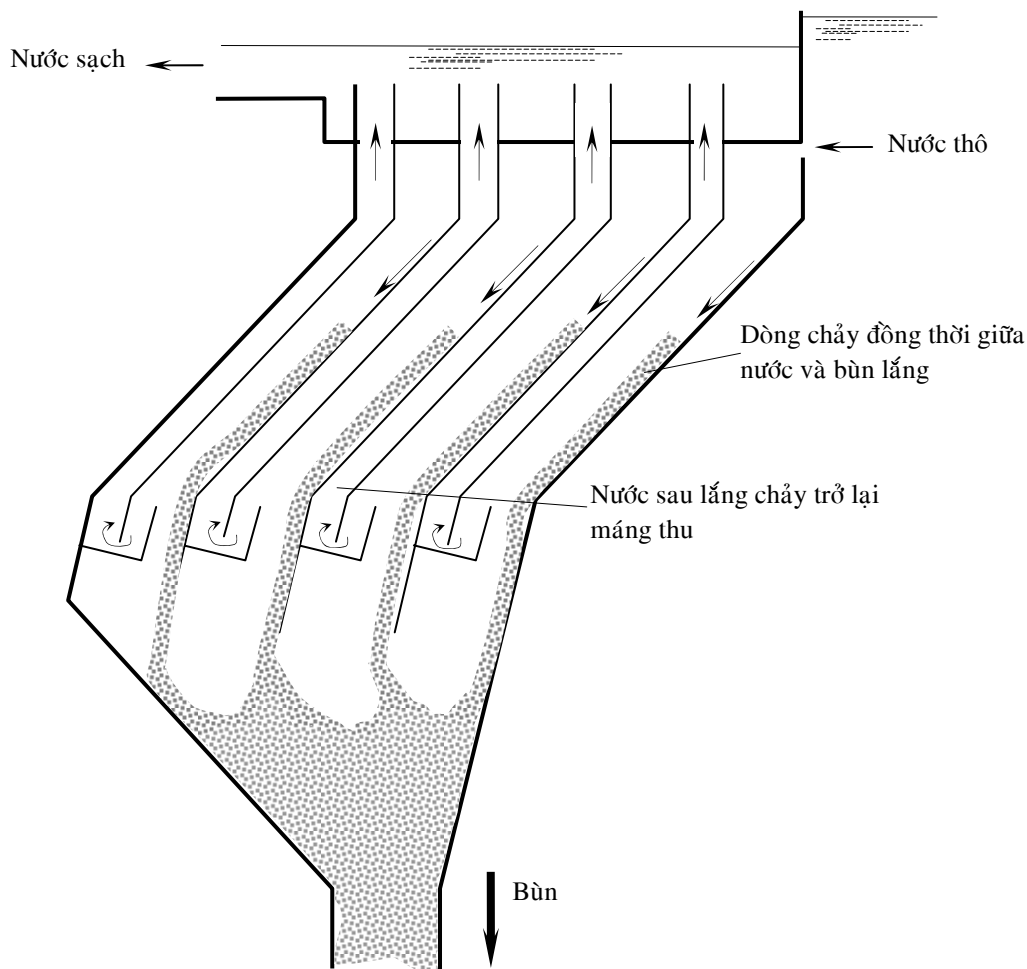
- Bể lắng đứng;
- Bể lắng có vách ngăn;
- Bể lắng khay;
- Bể lắng ống.



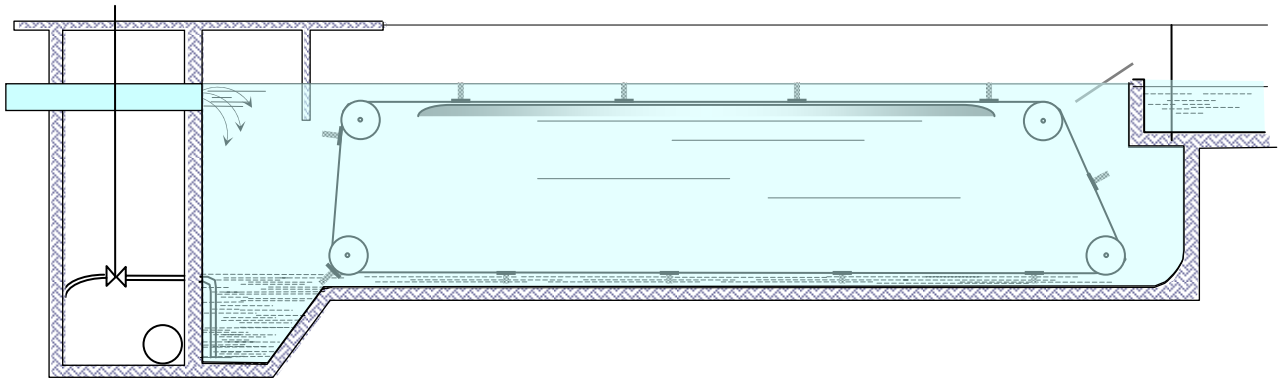
Hình 2.3 Bể lắng khay.



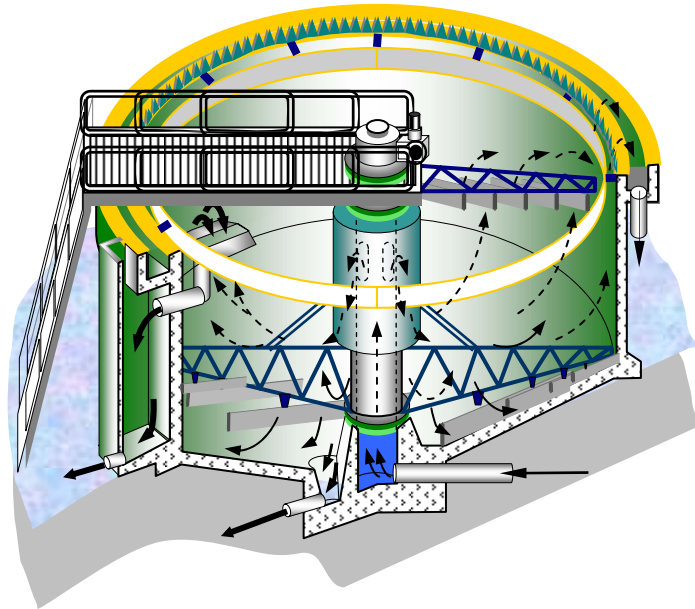
Hình 2.4 Bể lắng có vách ngăn.



Hình 2.5 Bể lắng có vách ngăn Inka.



Hình 2.6 Bể lắng ngang có băng cào bùn và gạt váng.



Hình 2.7 Bể lắng đứng.

2.2 QUÁ TRÌNH LỌC (FILTRATION)

2.2.1 MỤC ĐÍCH

Quá trình lọc được sử dụng để tách các hạt hữu cơ và vô cơ kích thước nhỏ có trong nước và nước thải. Quá trình lọc thường sử dụng trong xử lý nước khi không thể loại các hạt nhỏ trong nước bằng phương pháp lắng và chỉ dùng trong xử lý nước thải khi nước sau xử lý đòi hỏi có chất lượng cao.

2.2.2 MÔ TẢ HOẠT ĐỘNG CỦA QUÁ TRÌNH LỌC

TS: Nguyễn Trung Việt
TS: Trần Thị Mỹ Diệu

Quá trình lọc hoàn chỉnh gồm có hai pha: lọc và làm sạch (rửa lọc). Các hiện tượng xảy ra trong pha lọc hầu như giống nhau cho tất cả các loại thiết bị lọc, pha rửa lọc xảy ra rất khác nhau tùy thuộc vào hoạt động của thiết bị lọc là dạng lọc bán liên tục hoặc lọc liên tục. Đối với lọc bán liên tục, pha lọc và pha rửa lọc xảy ra nối tiếp nhau. Trái lại, đối với lọc liên tục, hai pha này xảy ra thời.

Lọc bán liên tục (Semicontinuous Filtration Operations). Trong pha lọc, quá trình tách các hạt được tách khỏi nước/nước thải được thực hiện bằng cách cho nước/nước thải đi qua lớp vật liệu lọc trong điều kiện có hoặc không có bổ sung hóa chất. Trong lớp vật liệu lọc, quá trình khử các hạt lơ lửng xảy ra bằng một quá trình phức tạp bao gồm một hoặc nhiều cơ chế như lọc qua khe, va chạm, lắng, tạo bông và hấp thu.

Pha lọc kết thúc khi nồng độ chất lơ lửng trong nước sau lọc bắt đầu tăng vượt quá giới hạn cho phép hoặc vượt quá giới hạn cho phép của tổn thất áp suất qua lớp vật liệu lọc. Một cách lý tưởng, hai hiện tượng này phải xảy ra đồng thời. Khi một trong hai hiện tượng này xảy ra, pha lọc kết thúc và phải tiến hành rửa lọc để tách các cặn lơ lửng tích lũy trong lớp vật liệu lọc. Thông thường, quá trình rửa lọc được thực hiện bằng cách đổi chiều dòng chảy qua thiết bị lọc. Với lưu lượng nước rửa lọc đủ lớn, lớp vật liệu lọc sẽ bị giãn nở và đẩy các cặn tích lũy ra ngoài. Không khí thường được sử dụng kết hợp với nước để tăng hiệu quả rửa lọc. Trong hầu hết các hệ thống xử lý nước thải, nước sau khi rửa lọc có chứa các cặn lơ lửng được đưa về bể lắng đợt 1 hoặc qua quá trình xử lý sinh học.

Quá trình lọc liên tục. Trong các thiết bị lọc vận hành liên tục, pha lọc và pha rửa lọc xảy ra đồng thời và không có hiện tượng đạt điểm tới hạn của độ đục hoặc tổn thất áp suất.

Một dạng thiết bị lọc liên tục là thiết bị dòng chảy ngược, nước cần lọc chuyển động ngược từ dưới lên qua lớp vật liệu lọc. Cùng thời gian đó, lớp cát di chuyển đồng thời theo cùng hướng và được làm sạch liên tục. Cát (vật liệu lọc) được bơm từ đáy thiết bị lọc qua ống trung tâm đến bộ phận rửa lắp ở phần trên của thiết bị lọc, từng hạt cát sẽ được làm sạch các vật liệu bám trên nó bằng quá trình cọ xát và lực cắt. Quá trình rửa sạch cát xảy ra khi chúng chuyển động zig-zag trong kênh ở phần dưới của bộ phận rửa và trước khi rơi trở lại bề mặt của lớp cát.

2.2.3 CƠ CHẾ LỌC

Cơ chế tách cặn trong quá trình lọc được mô tả như sau:

1. Cơ chế lọc qua khe (Straining)

- Cơ chế lọc cơ học: những hạt có kích thước lớn hơn khe rỗng giữa các hạt vật liệu lọc sẽ bị giữ lại theo nguyên tắc cơ học;

- Cơ chế tiếp xúc ngẫu nhiên: các hạt có kích thước nhỏ hơn khe rỗng trong quá trình chuyển động qua lớp vật liệu lọc sẽ bị giữ lại do sự tiếp xúc với các khe có kích thước nhỏ hơn kích thước các hạt cặn một cách ngẫu nhiên.

2. Cơ chế lắng (sedimentation)

- Các hạt lắng trên lớp vật liệu lọc.

3. Cơ chế nén cặn (impaction)

- Các hạt nặng sẽ không chuyển động theo dòng chảy.

4. Cơ chế bị chặn (interception)

- Nhiều hạt khi chuyển động cùng với dòng nước sẽ bị giữ lại khi tiếp xúc với bề mặt của hạt vật liệu lọc.

5. Cơ chế dính bám (adhesion)

- Các bông cặn sẽ bị dính bám vào bề mặt của lớp vật liệu lọc khi chuyển động qua lớp này. Do lực của dòng chảy, một số bông cặn bị cắt nhỏ trước khi trở nên bị dính chặt và đẩy sâu vào lớp vật liệu lọc. Khi lớp vật liệu lọc bị tắc, lực cắt bề mặt gia tăng đến một giới hạn mà tại đó không có một hạt cặn nào có thể đi qua. Một số hạt cặn có thể đi xuyên qua lớp vật liệu lọc làm tăng đột ngột độ đục của nước sau lọc.

6. Cơ chế hấp phụ (chemical adsorption)

- Liên kết hóa học;
- Tương tác hóa học.

7. Cơ chế hấp phụ vật lý (Physical adsorption)

- Lực tĩnh điện;
- Lực điện động;
- Lực Van der Waals.

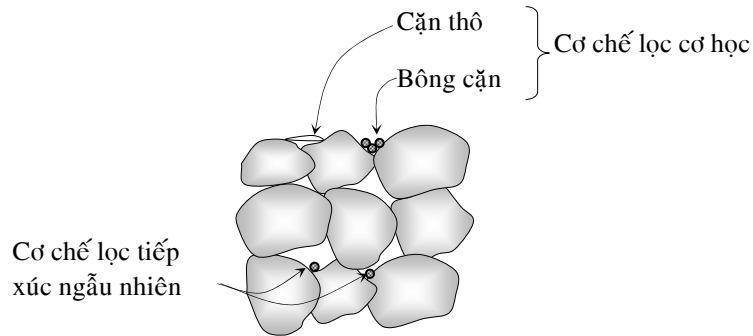
Khi các hạt tiếp xúc với bề mặt của vật liệu lọc hoặc với các hạt khác, thì một trong những cơ chế này hoặc cả hai sẽ tham vào quá trình giữ hạt cặn ở đó.

8. Cơ chế tạo bông (flocculation)

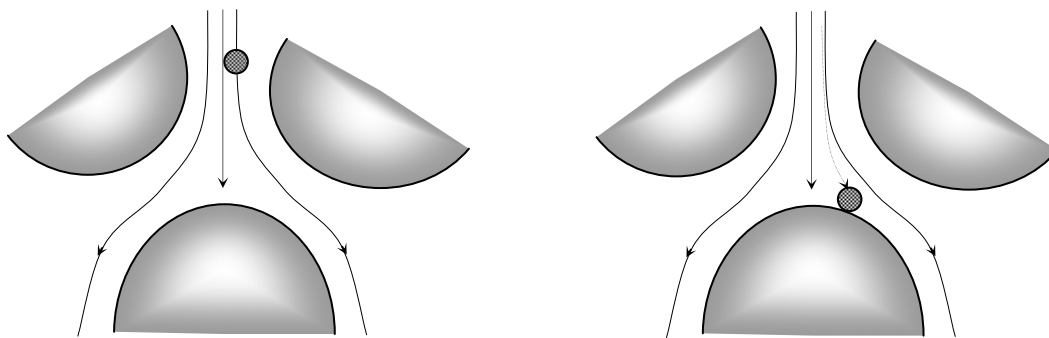
Các hạt lớn có tốc độ lắng nhanh hơn, khi va chạm với các hạt nhỏ sẽ dính kết với chúng và tạo thành những bông cặn có kích thước lớn hơn. Các bông cặn này sẽ bị tách riêng theo một hoặc nhiều cơ chế đã trình bày từ mục 1 đến 5.

9. Sự tăng trưởng sinh học

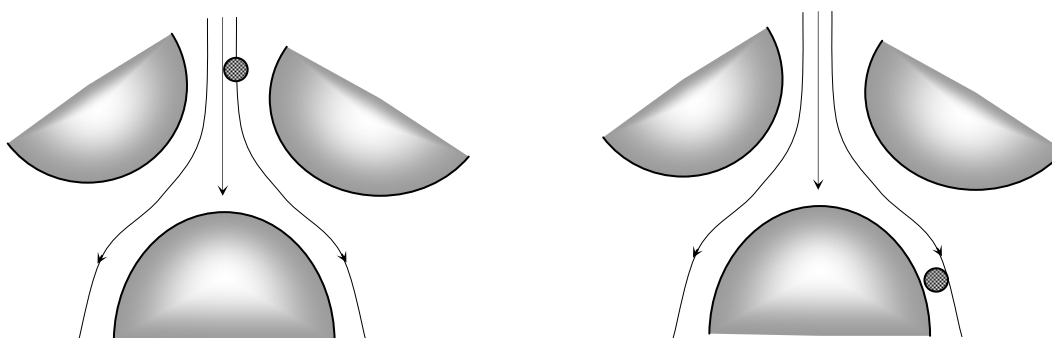
Quá trình tăng trưởng màng vi sinh vật trên bề mặt các hạt vật liệu lọc sẽ làm giảm thể tích của các lỗ rỗng và có thể làm tăng khả năng tách loại các hạt cặn theo các cơ chế như trên.

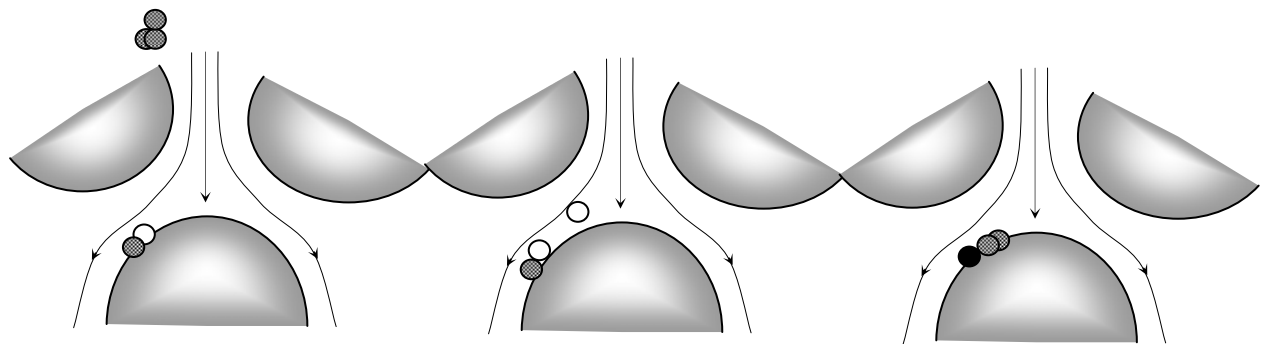
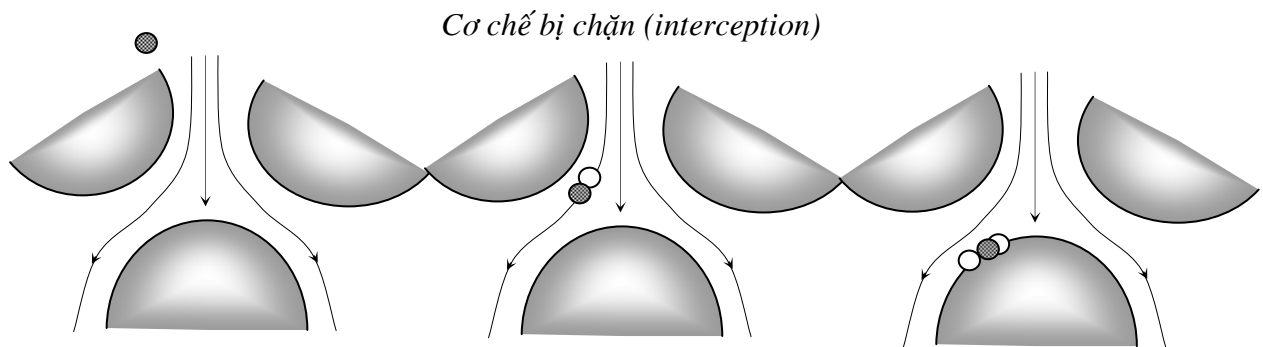


Cơ chế lọc qua khe lọc (straining)

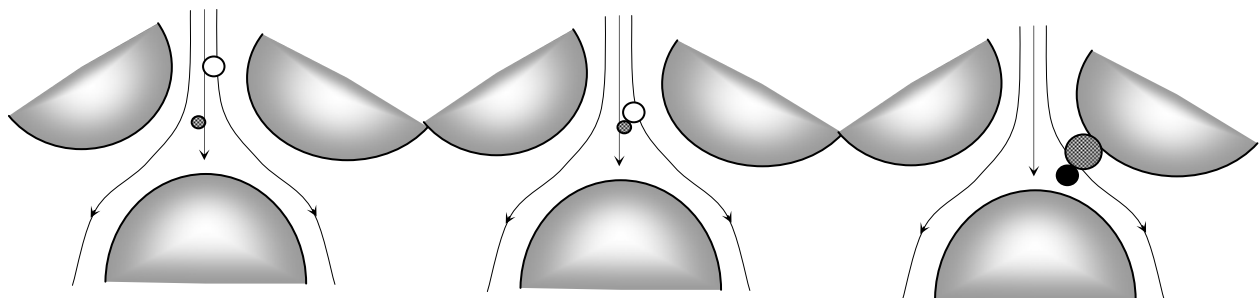


Cơ chế lắng hoặc nén cặn (sedimentation or inertial impaction)





Cơ chế dính bám (adhesion)



Cơ chế tạo bông (flocculation).

Cơ chế lọc qua khe là cơ chế chủ yếu trong quá trình khử các hạt cặn lơ lửng có trong nước thải sau khi qua bể lắng đợt 2. Các cơ chế khác có tác dụng ít hơn. Trong thực tế, việc khử các hạt cặn nhỏ hơn có thể xảy ra theo hai bước: (1) vận chuyển các hạt đến bề mặt vật liệu lọc và (2) tách hạt cặn theo một hoặc nhiều cơ chế như trình bày trên.

2.2.4 PHÂN LOẠI HỆ THỐNG LỌC

Các hệ thống lọc có thể được phân loại theo:

- Phương thức vận hành: lọc liên tục và lọc bán liên tục;
- Hướng dòng chảy trong quá trình lọc: từ trên xuống và từ dưới lên;
- Loại vật liệu lọc: một lớp, hai lớp, ba lớp;
- Động lực của quá trình lọc: lọc trọng lực và lọc áp lực;
- Phương pháp rửa lọc;
- Phương pháp kiểm soát lưu lượng: lưu lượng không đổi và lưu lượng giảm dần.

2.2.5 CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG VẬN HÀNH THIẾT BỊ LỌC

- **Đặc tính của nước cần lọc:** nồng độ cặn lơ lửng, kích thước hạt cặn và sự phân bố kích thước hạt, nồng độ bông cặn và độ nhớt của nước.
 - $SS_{e-activated\ sludge, trickling\ filter} = 6 - 30\ mg/L$
 - $SS\ mg/L = (2,3 - 2,4) \times Turbidity\ (NTU)$
 - Hạt nhỏ = 1 – 15 μm ; hạt lớn = 50 – 150 μm ; một số hạt 500 μm .
 - Kết quả phân tích mức độ phân bố các hạt cho thấy kích thước của các hạt nhỏ trung bình từ 3 – 5 μm , và hạt lớn 80-90 μm ;
 - Độ nhớt dung dịch cần lọc giảm thì hiệu suất lọc tăng.
- **Đặc tính của vật liệu lọc:** kích thước hạt vật liệu lọc ảnh hưởng đến cả tổn thất áp lực khi thiết bị chỉ chứa nước sạch và trong quá trình lọc.
 - Nếu hạt quá nhỏ, trở lực quá lớn vật liệu lọc gia tăng;
 - Nếu hạt quá lớn, nhiều hạt nhỏ bị trôi theo nước ra ngoài.
- **Vận tốc lọc.** Đây là thông số quan trọng vì nó ảnh hưởng đến kích thước của thiết bị lọc. Vận tốc lọc phụ thuộc vào nồng độ bông cặn và kích thước vật liệu lọc.
- **Các thông số hóa học:** pH và ion hóa trị cao.
 - Điện thế bề mặt của hạt vật liệu lọc phụ thuộc vào pH. Vật liệu lọc thường dùng là cát, than,... thường có điện thế bề mặt âm với giá trị pH từ 7 đến 9;
 - Khi thế điện động tăng thì hiệu suất lọc giảm.

2.2.6 ÁP LỰC ÂM VÀ SỰ TẠO THÀNH BỌT KHÍ

Sự phân bố áp lực trên toàn bộ chiều cao của bể lọc phụ thuộc vào chiều cao lớp nước bảo vệ phía trên bề mặt lớp vật liệu lọc:

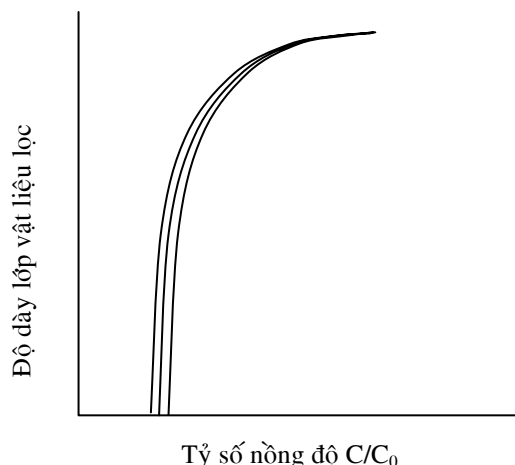
- Chiều cao lớp nước bảo vệ lớn (đến 1,4 m), bể lọc vận hành với áp lực dư;
- Chiều cao lớp nước bảo vệ nhỏ ($< 0,4$ m), bể lọc vận hành với áp lực âm.

Nước trên bề mặt vật liệu lọc bão hòa với không khí: $P(\text{khí} + \text{hơi nước}) = P(\text{khí quyển})$. Theo chiều cao cột nước bảo vệ từ trên xuống, áp lực cột nước tăng dần, còn tổng áp lực khí vẫn giữ nguyên. Áp lực nước bắt đầu giảm khi qua lớp vật liệu lọc, còn áp lực khí vẫn giữ nguyên nếu không có quá trình sinh hóa nào xảy ra trong lớp vật liệu lọc. Như vậy, áp lực của khí sẽ lớn hơn áp lực của nước và hình thành áp lực âm, nghĩa là tại đó mao quản chứa khí và không có nước qua nên tổn thất áp suất tăng đột ngột, là kết thúc sớm quá trình lọc.

- Nếu các bọt khí chỉ tạo thành một vùng của bể lọc thì vùng còn lại sẽ kéo cạn ra khỏi bể cùng với nước lọc.
- Nếu bọt khí tích tụ trong toàn bộ chiều cao lớp vật liệu lọc thì sẽ hình thành các dòng dẫn nước qua lớp vật liệu lọc mà không có hiệu quả của quá trình lọc nước;
- Nếu các bọt khí dính kết với các hạt vật liệu lọc sẽ làm giảm tỷ trọng của chúng, kéo chúng nổi lên và trôi ra khỏi bể cùng với nước rửa lọc.

Khắc phục bằng cách giảm chiều cao lớp vật liệu lọc và tăng chiều cao lớp nước

22.5 PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH LỌC



2.3 QUÁ TRÌNH TUYỂN NỔI (FLOTATION)

2.3.1 GIỚI THIỆU CHUNG

Quá trình tuyển nổi là quá trình phân tách các hạt rắn hoặc lỏng khỏi pha lỏng được thực hiện bằng cách cung cấp các bọt khí mịn vào pha lỏng. Các bọt khí dính kết với các hạt khiến cho lực đẩy của bọt khí kết hợp với hạt rắn đủ lớn để kéo các hạt này nổi lên bề mặt. Nhờ đó mà các hạt có tỷ trọng lớn hơn tỷ trọng của chất lỏng cũng nổi được.

Trong xử lý nước thải, quá trình tuyển nổi được áp dụng để xử lý các chất lơ lửng trong nước và cô đặc bùn. Ưu điểm chính của quá trình tuyển nổi so với quá trình lắng là khả năng tách loại khá triệt để các hạt rất nhỏ và nhẹ, có khả năng lắng chậm trong một khoảng thời gian ngắn. Trong xử lý nước cấp, quá trình tuyển nổi được sử dụng kết hợp với quá trình keo tụ tạo bông.

2.3.2 CÁC PHƯƠNG PHÁP TUYỂN NỔI

Tuyển nổi bằng khí phân tán (Dispersed Air Flotation). Phương pháp này được thực hiện bằng cách thổi trực tiếp khí nén vào dung dịch cần tuyển nổi, gây xáo trộn dung dịch, cản tiếp xúc với bọt khí và tiếp xúc với nhau, dính kết và nổi lên trên bề mặt. Bọt khí tạo thành trong trường hợp này có kích thước tương đối lớn (0,1 – 1 mm).

Tuyển nổi bằng khí hòa tan (Dissolved Air Flotation – DAF). Trong các hệ thống DAF, không khí được hòa tan vào nước ở áp suất từ 2 - 4 atm cho đến khi đạt trạng thái bão hòa, sau đó nhờ sự giãn áp đột ngột đến áp suất khí quyển, tạo thành các bọt khí có đường kính từ 20-100 μm . Quá trình tuyển nổi dạng này còn được gọi là quá trình tuyển nổi bằng phương pháp giãn áp và được chia làm ba loại:

- **Phương pháp toàn dòng.** Trong phương pháp này toàn bộ nước bão hòa không khí được giãn áp. Nhược điểm của phương pháp này là làm phá vỡ bông keo tụ.
- **Phương pháp một phần của dòng.** Trong phương pháp này, một phần nước thô được tăng áp bằng cách thổi khí vào và sau đó được giãn áp bằng cách trộn đều với một phần nước thô chưa bão hòa khí. Phương pháp này hạn chế sự phá vỡ bông cản của quá trình keo tụ so với phương pháp toàn dòng.
- **Phương pháp hồi lưu.** Trong phương pháp này, một phần nước tạo ra sau quá trình tuyển nổi sẽ được tăng áp bằng cách thổi khí vào và trộn với dòng nước thô. Phương pháp này rất thông dụng do đơn giản và đạt kết quả tốt.

Tuyển nổi chân không (Vacuum Flotation). Dưới áp suất thường, dung dịch cần tuyển nổi được bão hòa không khí. Khi tạo chân không trong thiết bị kín, khí thoát ra dưới dạng bọt khí nhỏ, kết dính với cặn và nổi lên bề mặt. Hệ thống này ít được sử dụng vì khó vận hành trong thực tế.

Trong các quá trình trên, không khí được sử dụng làm tác nhân tuyển nổi. Trong một số trường hợp, các hóa chất phụ gia được thêm vào để tăng hiệu quả tuyển nổi. Các hóa chất này có tác dụng tạo ra bề mặt hoặc cấu trúc có thể dễ dàng kết dính hoặc hấp thụ các bọt khí. Các hợp chất vô cơ thường dùng như muối nhôm và muối sắt, silic hoạt tính có thể sử dụng để kết hợp các hạt với nhau và do đó tạo ra một cấu trúc dễ dàng kết dính với các bọt khí. Nhiều hợp chất hữu cơ cao phân tử cũng được sử dụng để thay đổi bản chất của mặt phân cách lỏng - khí hoặc lỏng - rắn.

2.3.3 CƠ SỞ CỦA QUÁ TRÌNH

Lượng không khí nén vào dung dịch cần tuyển nổi tuân theo định luật Henry-Dalton:

$$C_i = K \cdot P_i$$

Trong đó:

- C_i là nồng độ của khí i trong nước;
- K là hằng số Henry;
- P_i là áp suất riêng phần của khí i .

Ở nhiệt độ không đổi, lượng khí hòa tan vào nước tỷ lệ thuận với áp suất riêng phần của khí. Khi áp suất càng tăng kích thước bọt khí càng nhỏ. Khi áp suất khoảng 5 bar, kích thước bọt khí < 10 μm .

Khi thiết kế hệ thống DAF, cần bảo đảm tỷ lệ giữa lượng khí cung cấp và lượng chất rắn có trong dung dịch cần xử lý:

$$\frac{A}{S} = \frac{\text{Kg/ngày, không khí cần cung cấp}}{\text{Kg/ngày lượng chất rắn trong nước thải}}$$

Tỷ lệ này thay đổi theo loại chất lơ lửng có trong dung dịch cần phân tách và thường được xác định bằng thực nghiệm:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 s_a (fP - 1)}{S_a}$$

Trong đó,

- s_a : độ hòa tan của không khí (mL/L);
- f : phần khí hòa tan ở áp suất P, thường $f = 0,5$;
- P : áp suất (atm);
- S_a : nồng độ chất rắn (mg/L);
- 1,3 : Khối lượng riêng của không khí (1,3 mg/mL)

Trong trường hợp có tuần hoàn dòng tạo áp:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 s_a (fP - 1)R}{S_a Q}$$

Trong đó:

- R : Dòng tuần hoàn (m³/ngày);
- Q : Lưu lượng nước thải (m³/ngày).