

## 1. MỤC ĐÍCH

Khảo sát đặc tính động lực học lưu chất và khả năng hoạt động của cột chêm bằng cách xác định:

- 1) Ảnh hưởng của vận tốc dòng khí và lỏng lên tổn thất áp suất (độ giảm áp) khi đi qua cột.
- 2) Sự biến đổi của hệ số ma sát cột khô  $f_{ck}$  theo chuẩn số Reynolds (Re) của dòng khí và suy ra các hệ thức thực nghiệm.
- 3) Sự biến đổi của thừa số  $\sigma$  liên hệ giữa độ giảm áp của dòng khí qua cột khô và qua cột ướt theo vận tốc dòng lỏng.
- 4) Giảm đồ giới hạn khả năng hoạt động của cột (giảm đồ ngập lụt và gia trọng).

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Độ giảm áp của dòng khí

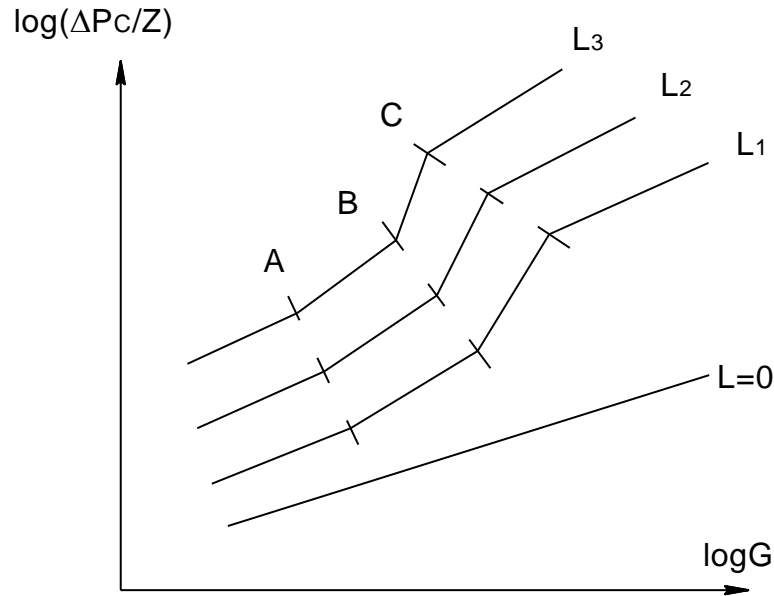
Độ giảm áp  $\Delta P_{ck}$  của dòng khí qua cột phụ thuộc vào vận tốc khối lượng  $G$  của dòng khí qua cột khô (không có dòng chảy ngược chiều). Khi dòng khí chuyển động trong các khoảng trống giữa các vật chêm tăng dần vận tốc thì độ giảm áp cũng tăng theo. Sự gia tăng này theo lũy thừa từ 1,8 đến 2,0 của vận tốc dòng khí.

$$\Delta P_{ck} = \alpha G^n \quad (1)$$

Với  $n = 1,8 - 2,0$

Khi có dòng lỏng chảy ngược chiều, các khoảng trống giữa những vật chêm bị thu hẹp lại. Dòng khí do đó di chuyển khó khăn hơn vì một phần thể tích tự do giữa các vật chêm bị lượng chất lỏng chiếm cứ. Khi tăng vận tốc dòng khí lên, ảnh hưởng cản trở của dòng lỏng tăng đều đặn cho đến một trị số tới hạn của vận tốc khí, lúc đó độ giảm áp của dòng khí tăng vọt lên. Điểm ứng với trị số tới hạn của vận tốc khí này được gọi là điểm gia trọng. Nếu tiếp tục tăng vận tốc khí quá trị số tới hạn này, ảnh hưởng cản trở hỗ tương giữa dòng lỏng và dòng khí rất lớn,  $\Delta P_c$  tăng mau chóng không theo phương trình (1) nữa. Dòng lỏng lúc này chảy xuống cũng khó khăn, cột ở điểm lụt.

Đường biểu diễn  $\log(\Delta P_c/Z)$  (độ giảm áp suất của dòng khí qua một đơn vị chiều cao của phần chêm trong cột) dự kiến như trình bày trên hình 1.



**Hình 1:** Ảnh hưởng của  $G$  và  $L$  đối với độ giảm áp của cột  $\Delta P_c$

## 2.2. Hệ số ma sát $f_{ck}$ theo $Re_c$ khi cột khô

Chilton và Colburn đề nghị một hệ thức liên hệ giữa độ giảm áp của dòng khí qua cột chêm khô với vận tốc khối lượng của dòng khí qua cột.

$$\Delta P_{ck} = 2 f_{ck} \frac{G^2 Z}{\rho_g D_h} \gamma_h \gamma_w, \text{ N/m}^2 \quad (2)$$

$Z$ : chiều cao phần chêm, m.

$G$ : vận tốc khối lượng dòng khí dựa trên một đơn vị tiết diện cột,  $\text{kg/s.m}^2$ .

$D_h$ : kích thước đặc trưng của vật chêm, m.

$\rho_g$ : khối lượng riêng của pha khí,  $\text{kg/m}^3$ .

$\gamma_h$ : hệ số hiệu chỉnh dùng cho vật chêm rỗng.

$\gamma_w$ : hệ số hiệu chỉnh ảnh hưởng của thành cột lên độ xốp của cột chêm.

Sherwood tổng hợp kết quả của một số nghiên cứu và đưa ra trị số sau cho vòng sứ Raschig:

$$\gamma_h = 0,35$$

$$\gamma_w = 1$$

Tuy nhiên, Zhavoronkov đề nghị một hệ thức khác chính xác hơn vì đã đưa được trị số độ xốp của cột chêm vào hệ thức:

$$\Delta P_{ck} = \frac{2 f_{ck} G^2 Z}{\varepsilon^2 \rho_g D_e}, \text{ N/m}^2 \quad (3)$$

Với  $\varepsilon$ : độ xốp của vật chêm.

$D_e = 4\varepsilon/a$ : đường kính tương đương của vật chêm, m.

$a$ : diện tích bề mặt riêng của vật chêm,  $\text{m}^2/\text{m}^3$ .

Hệ số ma sát  $f_{ck}$  là hàm số theo chuẩn số vô thứ nguyên  $Re_c$ , với  $Re_c$  được tính theo công thức sau:

$$Re_c = \frac{GD_e}{\mu} = \frac{4G}{a\mu} \quad (4)$$

$\mu$ : độ nhớt của dòng khí, kg/ms.

Zhavoronkov đã xác định được khi dòng khí chuyển từ chế độ chảy tầng sang chế độ chảy rối ứng với trị số  $Re_c = 50$ . Trong vùng chảy rối,  $50 < Re_c < 7000$  với cột chêm ngẫu nhiên. Ta được:

$$f_{ck} = \frac{3,8}{Re_c^{0,2}} \quad (5)$$

Tuy nhiên, các hệ thức tổng quát trên không được chính xác lắm vì không xem xét được toàn bộ ảnh hưởng của hình dạng vật chêm.

### 2.3. Độ giảm áp $\Delta P_{cur}$ khi cột ướt

Sự liên hệ giữa độ giảm áp cột khô  $\Delta P_{ck}$  và cột ướt  $\Delta P_{cur}$  có thể biểu diễn như sau:

$$\Delta P_{cur} = \sigma \Delta P_{ck} \quad (6)$$

$$\text{Do đó có thể dự kiến } f_{cur} = \sigma \cdot f_{ck} \quad (7)$$

Với  $\sigma$ : hệ số phụ thuộc vào mức độ xối tưởi của dòng lỏng L, kg/m<sup>2</sup>s.

Leva đề nghị ảnh hưởng của L lên  $\sigma$  như sau:

$$\sigma = 10^{\Omega L} \quad (8)$$

$$\text{hay } \log \sigma = \Omega L \quad (9)$$

Giá trị  $\sigma$  tùy thuộc vào loại, kích thước, cách thức sắp xếp vật chêm (xếp ngẫu nhiên hay theo thứ tự) và độ lớn của lưu lượng lỏng L. Thí dụ với vật chêm là vòng sứ Raschig 12,7 mm, chêm ngẫu nhiên, độ xộp  $\varepsilon = 0,586$ ; giá trị của L từ 0,39 đến 11,7 kg/m<sup>2</sup>s và cột hoạt động trong vùng dưới điểm gia trọng.

$$\Omega = 0,084$$

Một số tài liệu còn biểu diễn sự phụ thuộc giữa tỉ số  $\frac{\Delta p_{c\ddot{o}}}{\Delta p_{ck}}$  với hệ số xối tưởi như sau:

$$A = 3 \sqrt[3]{\frac{1,75}{Re_L} \left( \frac{G_L}{F\rho_L} \right) \frac{q}{2g\varepsilon^2}}$$

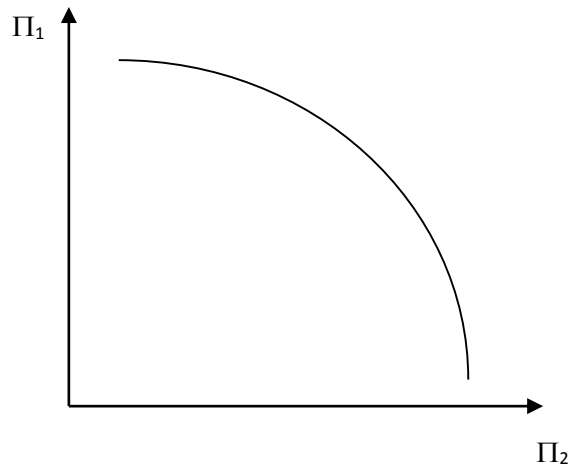
Khi  $A < 0,3$  cho vật chêm bằng sứ có  $d < 30$  mm, ta có:

$$\frac{\Delta p_{c\ddot{o}}}{\Delta p_{ck}} = \frac{1}{(1-A)^3} \quad (10)$$

$$Re_L = \frac{4G_L}{Fa\mu_L} \quad (11)$$

### 2.4. Điểm lụt của cột chêm

Khi cột chêm bị ngập lụt, chất lỏng chiếm toàn bộ khoảng trống trong phần chêm, các dòng chảy bị xáo trộn mãnh liệt, hiện tượng này rất bất lợi cho sự hoạt động của cột chêm. Gọi giá trị của  $G_L$  tương ứng với trạng thái này là  $G_L^*$ .



**Hình 2:** *Giản đồ lự của cột chêm*

Zhavoronkov kết luận rằng trạng thái ngập lự xảy ra khi hai nhóm số sau có sự liên hệ nhất định với nhau cho mỗi cột.

$$\Pi_1 = \left( \frac{f_{ck} \cdot a}{\varepsilon^3} \right) \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\rho_G}{\rho_L} \cdot \mu_{t\tilde{n}}^{0,2} \quad (12)$$

và 
$$\Pi_2 = \frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \quad (13)$$

Với  $f_{ck}$ : hệ số ma sát cột khô.

$v$ : vận tốc dài của dòng khí ngay trước khi vào cột, m/s.

$\mu_{t\tilde{n}}$ : độ nhớt tương đối của chất lỏng so với nước.  $\mu_{t\tilde{n}} = \frac{\mu_l}{\mu_{n\ddot{o}u\grave{c}}}$ , nếu chất lỏng là nước thì

$$\mu_{t\tilde{n}} = 1.$$

Do đó sự liên hệ giữa  $\Pi_1, \Pi_2$  trên giản đồ  $\log \Pi_1 - \log \Pi_2$  sẽ xác định một giản đồ lự của cột chêm, phần giới hạn hoạt động của cột chêm ở dưới đường này.

### 3. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

#### 3.1. Sơ đồ thiết bị thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm gồm có:

- 1) Cột thủy tinh, bên trong là các vòng sứ Raschig xếp chêm ngẫu nhiên.
- 2) Hệ thống cấp khí gồm:
  - Quạt thổi khí  $B_K$ .
  - Ống dẫn khí.
  - Áp kế sai biệt chữ U.
  - Lưu lượng kế khí  $F$  có độ chia từ 0 đến 100%.
- 3) Hệ thống cấp nước gồm:
  - Thùng chứa nước bằng thép không rỉ  $N$ .
  - Bơm chất lỏng  $B_L$ .
  - Lưu lượng kế lỏng  $F_l$  có độ chia từ 0 đến 2,0.

#### 3.2. Các số liệu liên quan đến cột chêm

Cột thủy tinh:

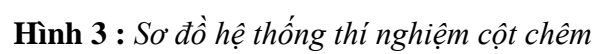
Đường kính  $d = 0,09$  m.

Chiều cao  $H = 0,805$  m.

Chiều cao phần chêm  $Z =$     m.

Vật chêm xếp ngẫu nhiên, vòng Raschig đường kính 12,7 mm, bề mặt riêng  $a = 370 - 380 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , độ xốp  $\varepsilon = 0,586$ .

Đường kính ống thép ở đáy cột  $D = 0,09$  m.



Các chi tiết trong sơ đồ thí nghiệm:

C: Cột chêm.

$F_K$ : Lưu lượng kế khí,  $V = 0,286 \text{ m}^3/\text{phút}$ .

g: Ống định mức chất lỏng ở đáy cột.

$F_L$ : Lưu lượng kế lỏng,  $G_L = 5,805 \text{ lít/phút}$ .

$B_K$ : Quạt có công suất 1,0 Hp.

$B_L$ : Bơm có công suất 0,5 Hp.

N: Thùng chứa chất lỏng.

L: Công tắc bơm.

K: Công tắc quạt.

AK: Áp kế.

#### 4. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

- 1) Khóa lại tất cả các van lỏng (từ 1 đến 4).
- 2) Mở van 5 và khóa van 6.
- 3) Bật công tắc quạt cho quạt chạy trong 5 phút để thổi hết ẩm trong cột. Tắt quạt, nghỉ 5-10 phút.
- 4) Mở van 1 và 3. Sau đó bật công tắc bơm cho bơm chạy.
- 5) Chỉnh mức lỏng ở đáy cột ngang bằng với ống định mức g. Tắt bơm và khóa van 3.
- 6) Đo độ giảm áp của cột khô:
  - a. Khóa tất cả các van lỏng lại. Mở van 6 còn 5 vẫn đóng. Cho quạt chạy rồi từ từ mở van 5 để chỉnh lưu lượng khí vào cột.
  - b. Ứng với mỗi giá trị lưu lượng khí đã chọn ta đọc  $\Delta P_{ck}$  trên áp kế U theo mmH<sub>2</sub>O. Đo xong tắt quạt, nghỉ 5-10 phút.
- 7) Đo độ giảm áp khi cột ướt:
  - a. Mở quạt và điều chỉnh lưu lượng khí qua cột.
  - b. Mở van 1 và cho bơm chạy. Dùng van  $V_L$  tại lưu lượng kế để chỉnh lưu lượng lỏng (lưu lượng kế lỏng có vạch chia 0,1; 0,2; ...; 1,6). Nếu  $V_L$  đã mở tối đa mà phao vẫn không lên thì dùng van 1 để tăng lượng lỏng.
  - c. Ứng với lưu lượng lỏng đã chọn (ví dụ: 0,1; 0,2; ...) cố định, ta chỉnh lưu lượng khí và đọc độ giảm áp  $\Delta P_{cr}$  giống như  $\Delta P_{ck}$  trước đó. Chú ý là tăng lượng khí đến điểm lệt thì thôi.

#### Chú ý:

- 1) Trong quá trình đo độ giảm áp của cột ướt, sinh viên cần canh giữ mức lỏng ở đáy cột luôn ổn định ở  $\frac{3}{4}$  chiều cao đáy bằng cách chỉnh van 2. Nếu cần, tăng cường van 4 để nước trong cột thoát về bình chứa (van 4 dùng để xả nhanh khi giảm lưu lượng khí).
- 2) Khi tắt máy phải tắt bơm lỏng  $B_L$  trước, mở tối đa van 4 sau đó tắt quạt  $B_K$ .
- 3) Nếu sơ suất để nước tràn vào ống dẫn khí thì mở van xả nước ở phía bằng.
- 4) Không cho quạt chạy quá 5 phút, chạy xong phải nghỉ 5- 10 phút cho quạt nguội.

## 5. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM :

G%	$\Delta P_{ck}$	$\Delta P_{ck}$							
	L=0	L=0,2	...	...					
10	...								
...									

### Các đồ thị cần vẽ theo từng chế độ thí nghiệm :

$\log \Delta P_{ck}/Z$  theo  $\log G$  và  $\Delta P_{ck}/Z$  theo  $L$  và  $G$

$\log f_{ck}$  và  $\log f_{cur}$  theo  $Re_c$

$\log \sigma$  theo  $L$  (tại vài vị trí của  $G$  dưới điểm gia trọng)

Giản đồ lứt của cột  $\log \Pi_1$  theo  $\log \Pi_2$

## 6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Giáo trình Truyền Khối, GS.TSKH Nguyễn Bin, Đại học Bách Khoa Hà Nội

[2] Truyền Khối, Vũ Bá Minh, Đại học Bách Khoa TpHCM

## 7. CÂU HỎI CHUẨN BỊ

- 1) Các yếu tố ảnh hưởng đến độ giảm áp của cột khô?
- 2) Tháp chêm được ứng dụng trong những lĩnh vực nào? Ưu và nhược điểm của chúng?
- 3) Có mấy loại vật chêm? Kể tên. Chúng được chế tạo từ vật liệu gì?
- 4) Kích thước vật chêm cần phải thỏa mãn điều kiện gì? Tại sao?
- 5) Lựa chọn vật chêm cần phải thỏa mãn những điều kiện gì?
- 6) Tại sao vòng Raschig thường có đường kính bằng chiều cao?
- 7) Ưu và nhược điểm của vật chêm bằng sứ?
- 8) Trong thí nghiệm các số liệu đo được cũng như lưu lượng của các dòng có ổn định không? Tại sao?
- 9) Trong thí nghiệm có mấy điểm cần lưu ý? Điểm nào quan trọng nhất?
- 10) Tại sao phải duy trì mực lỏng ở  $\frac{3}{4}$  đáy cột?
- 11) Có mấy loại quạt? Kể tên? Quạt trong bài này là loại gì? Cao áp hay thường?
- 12) Tại sao phải nghiên cứu đồ thị của tháp chêm từ điểm gia trọng đến điểm lứt?
- 13) Công thức tính vận tốc làm việc tối ưu trong tháp chêm?
- 14) Công thức tính hệ số trở lực do ma sát trong tháp chêm ở các chế độ chảy ( $Re$ ) khác nhau?
- 15) Công thức tổng quát tính tổn thất áp suất trong tháp chêm? Giải thích các thừa số trong công thức và mức độ ảnh hưởng của chúng đến độ giảm áp.
- 16) Công thức tính mối quan hệ giữa tỉ số  $\frac{\Delta p_{cổ}}{\Delta p_{ck}}$  với hệ số xói tước cho vật chêm bằng sứ và kim loại trong trường hợp  $d > 30$  mm ( $d$ : đường kính vòng chêm).
- 17) Tháp chêm làm việc ở chế độ nào là tốt nhất? Thực tế có thể vận hành ở chế độ này hay không? Tại sao?
- 18) Nguyên lý hoạt động của áp kế sai biệt chữ U.