

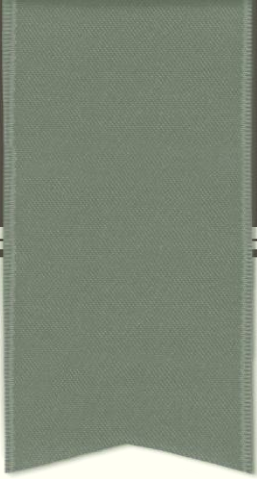


HCMUTE

FLUID DYNAMICS

Hung-Son Dang Ph.D.





CHƯƠNG 6

DÒNG CHẢY QUA LỖ - VÒI

OUTLINES

6.1 Khái niệm chung

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.1 Khái niệm chung

Ta thường gặp dòng chảy qua lỗ, vòi khi tháo cạn một bể chứa khi phun nhiên liệu vào buồng cháy của động cơ đốt trong, khi điều chỉnh vận tốc, lưu lượng dầu qua lỗ tiết lưu trong động cơ truyền động thủy lực, trong các bộ phận giảm chấn bằng thủy lực.

Mục đích chính của bài toán này là xác định vận tốc và lưu lượng của dòng chảy.

Phương pháp : áp dụng phương trình Bernoulli, phương trình liên tục và cách tính tổn thất năng lượng trong từng trường hợp cụ thể.

Yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất là bề dày thành lỗ, hoặc chiều dài của vòi l.

- + Nếu $\delta, l \gg (3 \div 4) e$ (hoặc d) thì được coi như dòng chảy qua ống ngắn.
- + Nếu $\delta, l \geq (3 \div 4) e$ (hoặc d) thì được coi như dòng chảy qua lỗ và vòi giống nhau và được coi như dòng chảy qua vòi.
- + Nếu $\delta, l < (3 \div 4) e$ (hoặc d) thì được coi như dòng chảy qua lỗ.

6.2 Tính thuỷ lực dòng chảy qua lỗ

6.2.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy qua lỗ, phân loại

a. Ảnh hưởng của môi trường bao quanh : chảy tự do, chảy ngập

+ Chảy tự do: dòng chất lỏng sau khi qua khỏi lỗ chảy vào môi trường chất khí.

+ Chảy ngập: dòng chất lỏng sau khi qua khỏi lỗ chảy vào môi trường chất lỏng.

Nếu chảy ngập, động năng của dòng chảy qua lỗ bị tiêu hao vào việc tạo nên những xoáy trong môi trường chất lỏng.

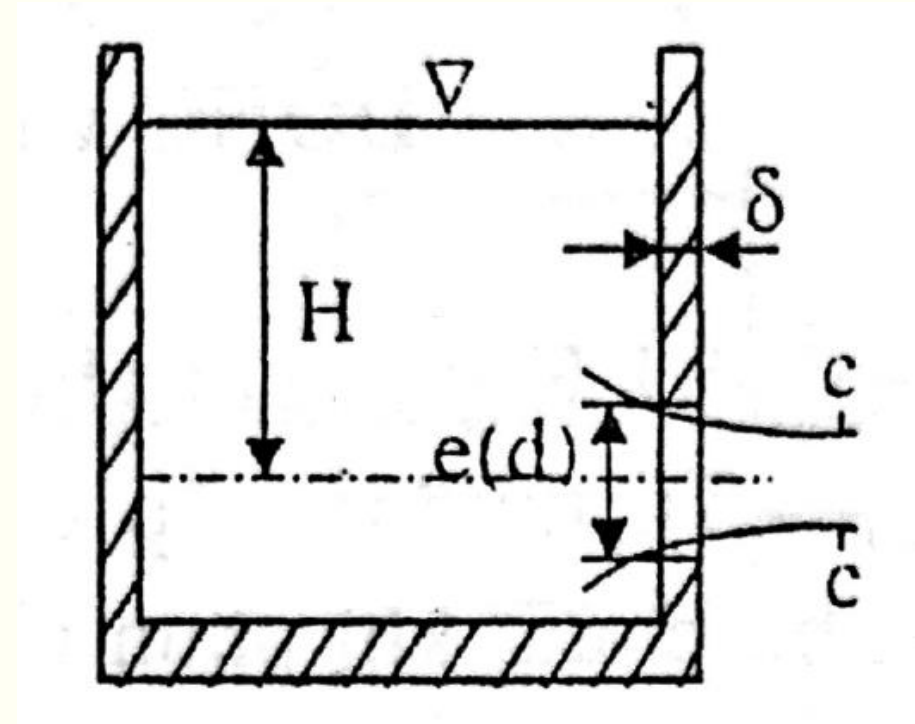
6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy qua lỗ, phân loại

b. Ảnh hưởng của kích thước so sánh giữa độ cao lỗ e và cột áp H trên lỗ (Hình 6.1) : lỗ to, lỗ nhỏ.

+Lỗ nhỏ khi $e < 0,1H$. Với lỗ nhỏ ta có thể xem cột áp H tác dụng tại các điểm trên mặt cắt lỗ là như nhau, $H = \text{const}$

+Lỗ to khi $e \geq 0,1H$. Trường hợp này cột áp tác dụng tại mép trên và mép dưới lỗ khác biệt nhau, nên trong các phép tính chính xác không dùng chung cột áp H được, $H \neq \text{const}$



Hình 6.1 Hiện tượng co hẹp dòng chảy.

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy qua lỗ, phân loại

c. Ảnh hưởng của bề dày thành lỗ : lỗ thành mỏng, lỗ thành dày.

+ Lỗ thành mỏng khi $\delta < (3\div 4)d$: lỗ có cạnh sắc hoặc vát mép.

Dòng chảy sau khi qua khỏi cạnh lỗ không tiếp xúc với thành mà thu nhỏ lại, tạo nên hiện tượng *co hẹp dòng chảy*.

Gọi: S_c - diện tích mặt cắt co hẹp

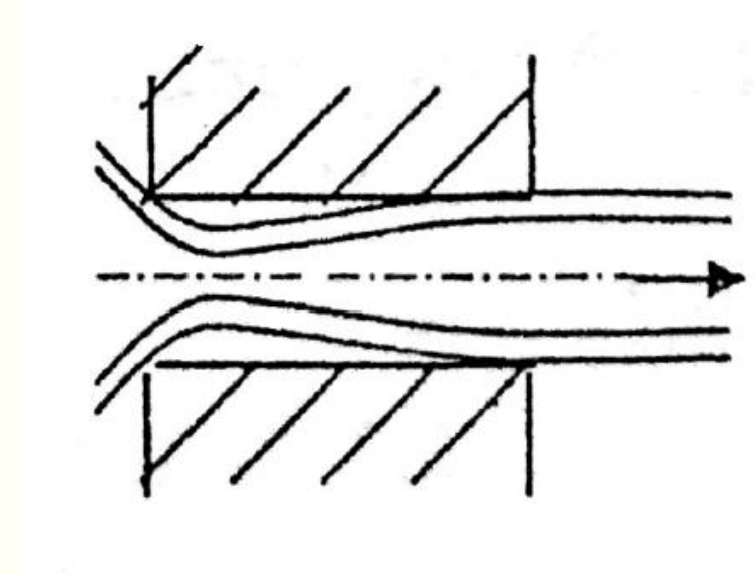
S - diện tích lỗ

Ta có hệ số co hẹp dòng: $\varepsilon = \frac{S_c}{S}$

Lỗ tròn co hẹp hoàn chỉnh: $\varepsilon \cong 0,63$

+ Lỗ thành dày khi $\delta \geq (3\div 4)d$.

Dòng chảy qua lỗ thành dày cũng bị co hẹp, nhưng sau đó mở rộng ra và bám vào thành lỗ. (hình 6.2) (với vôi cũng như vậy).



Hình 6.2 Dòng chảy qua lỗ thành dày.

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy qua lỗ, phân loại

d. Ảnh hưởng của vị trí lỗ: dòng co hẹp hoàn chỉnh, không hoàn chỉnh.

Tùy theo vị trí của lỗ xa hay gần các thành phần khác của bể chứa, sự co hẹp của dòng chảy sẽ hoàn chỉnh hay không hoàn chỉnh.

e. Ảnh hưởng của cột áp H trên lỗ: $H = \text{const}$; $H \neq \text{const}$, H lớn, H nhỏ, có ảnh hưởng đến vận tốc và lưu lượng dòng chảy qua lỗ .

f. Ảnh hưởng của số Re : thông qua các hệ số vận tốc φ , hệ số lưu lượng μ , ta sẽ xét ở sau.

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.2 Tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp không đổi.

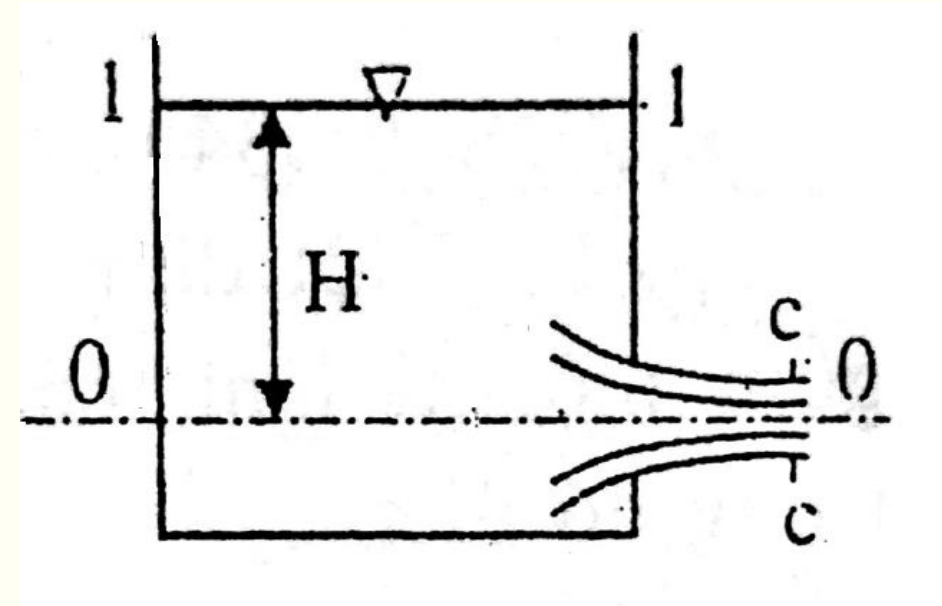
Viết phương trình Bernoulli cho dòng chảy giữa mặt thoáng 1-1 và mặt cắt co hẹp c-c. Mặt chuẩn qua tâm mặt cắt co hẹp; điểm 1 trên mặt thoáng và điểm c tại tâm mặt cắt co hẹp :

$$H + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = 0 + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + h_{w1c}$$

h_{w1c} : là tổn thất năng lượng từ 1-1 đến c-c, ở đây chủ yếu là tổn thất cục bộ qua lỗ

$$h_{w1c} = \xi \frac{v_c^2}{2g}$$

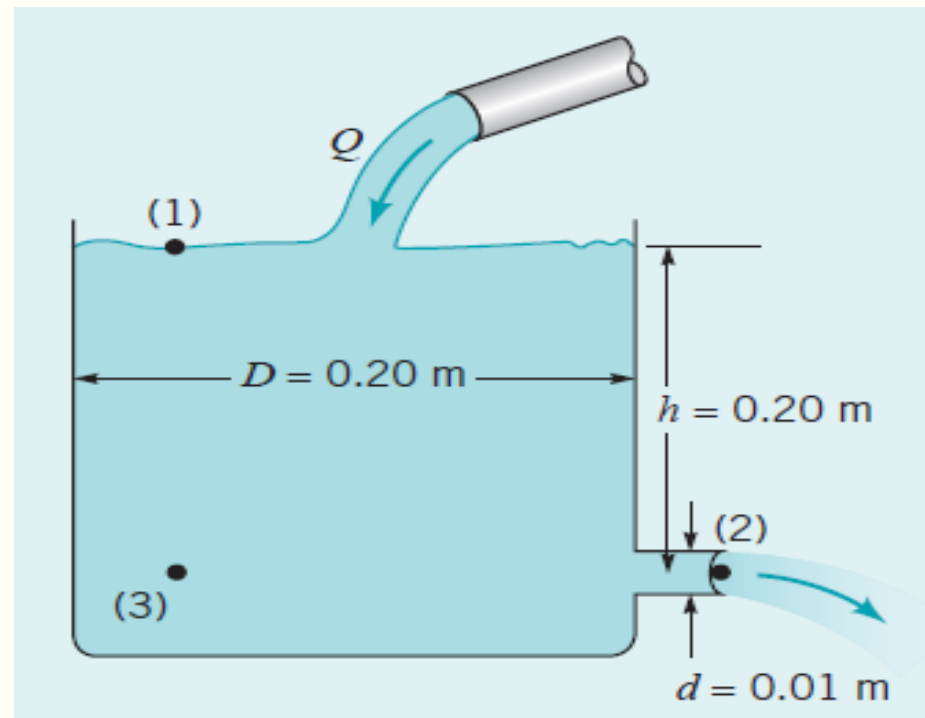
$$\text{Đặt : } H_0 = H + \frac{P_1 - P_c}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$$



Hình 6.3 Dòng chảy qua lỗ nhỏ thành mỏng.

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.2 Tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp không đổi.



Dòng chảy qua lỗ nhỏ thành mỏng.

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.2 Tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp không đổi.

Trong đó: H_0 - gọi là cột áp toàn phần tác dụng trên lỗ.

Phương trình thành:

$$H_0 = (\alpha_c + \xi) \frac{v_c^2}{2g}$$

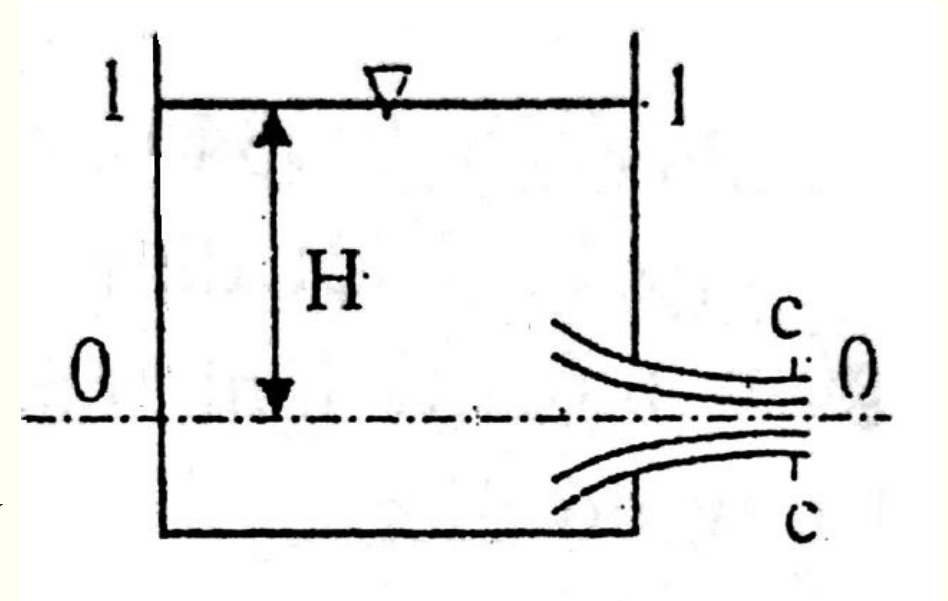
$$v_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}} \sqrt{2gH_0}$$

Đặt $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}}$; φ - là hệ số vận tốc của lỗ, phụ

thuộc vào hình dạng lỗ và số Re luôn luôn < 1

Ta có vận tốc trung bình tại mặt cắt co hẹp :

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH_0}$$



6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.2 Tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp không đổi

$$Q = S_c v_c = \varepsilon S \varphi \sqrt{2gH_0}$$

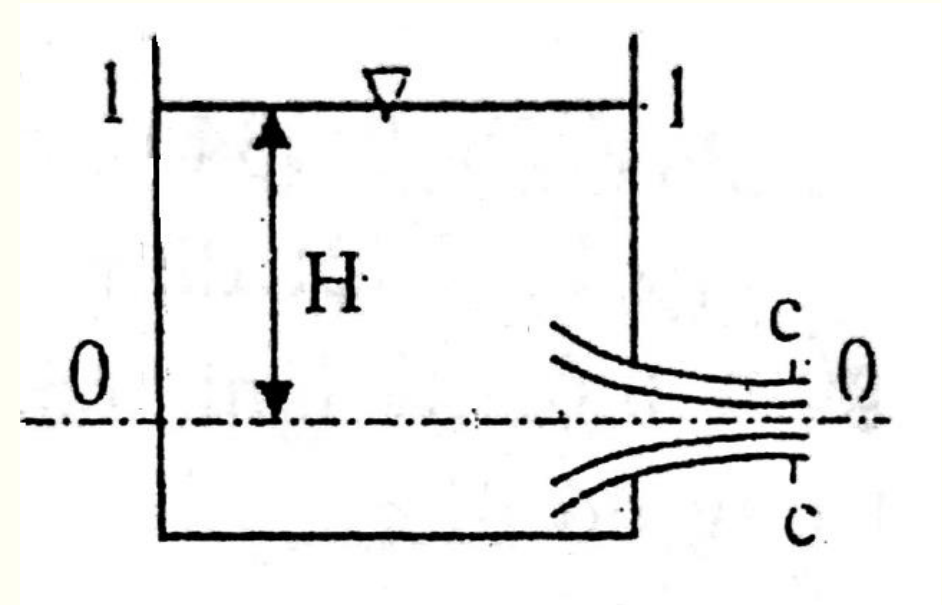
Đặt $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$; μ - hệ số lưu lượng của lỗ, phụ thuộc vào hình dạng lỗ, số Re và vị trí lỗ, luôn luôn < 1

Đối với những chất lỏng có độ nhớt bề mặt bé như nước, xăng, dầu hỏa ... chảy tự do qua lỗ nhỏ tròn thành mỏng có thể lấy:

$$\varepsilon = 0,63; \varphi = 0,97; \mu = 0,62$$

$$Q = \mu S \sqrt{2gH_0}$$

Công thức này gọi là công thức Toriceli.



6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.2 Tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp không đổi.

Trường hợp lỗ to, cột áp tại điểm phía trên và phía dưới của lỗ khác nhau rất nhiều. Ta có thể coi lỗ to gồm nhiều lỗ nhỏ có chiều cao dh , hệ số lưu lượng μ' và lưu lượng là:

$$dQ = \mu' b dh \sqrt{2gh}$$

Lấy tích phân (6-4) ta được công thức tính chính xác lưu lượng qua lỗ to. Tuy nhiên có thể tính gần đúng theo công thức Toriceli:

$$Q \cong \mu S \sqrt{2gH_0}$$

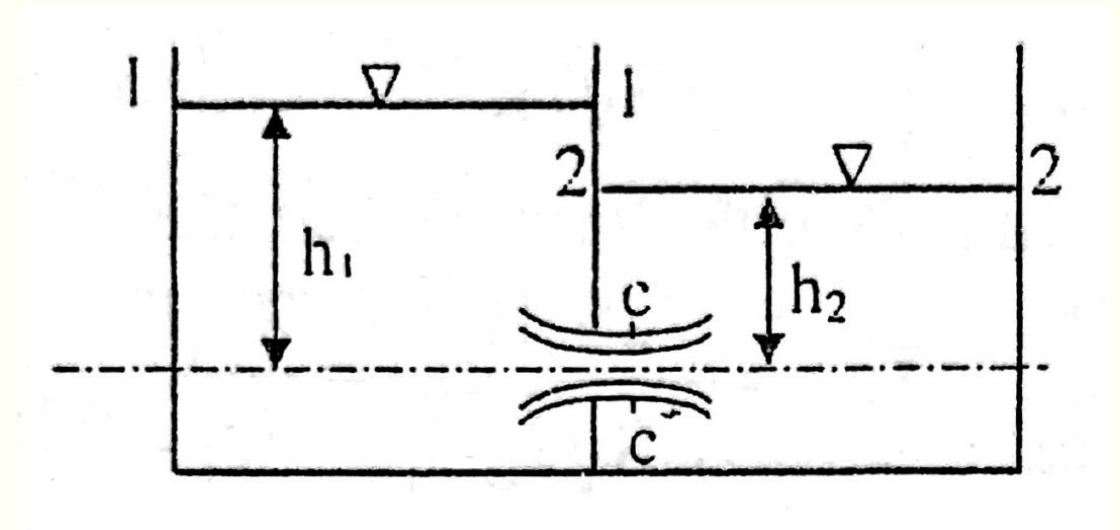
6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.3 Tính toán thủy lực dòng chảy ngập qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp không đổi.

Đối với dòng chảy ngập cột áp tác dụng bằng hiệu số cột áp ở thượng lưu và hạ lưu lỗ, vì vậy không cần phân biệt lỗ to lỗ nhỏ. Để tìm công thức tính lưu lượng ta viết phương trình Bernolli cho dòng chảy giữa mặt cắt 1-1 và 2-2.

Kết quả được công thức tính lưu lượng giống như công thức, nhưng với H_0 là hiệu cột áp hai bên lỗ các hệ số ε , φ , μ có thể lấy như dòng chảy tự do qua lỗ

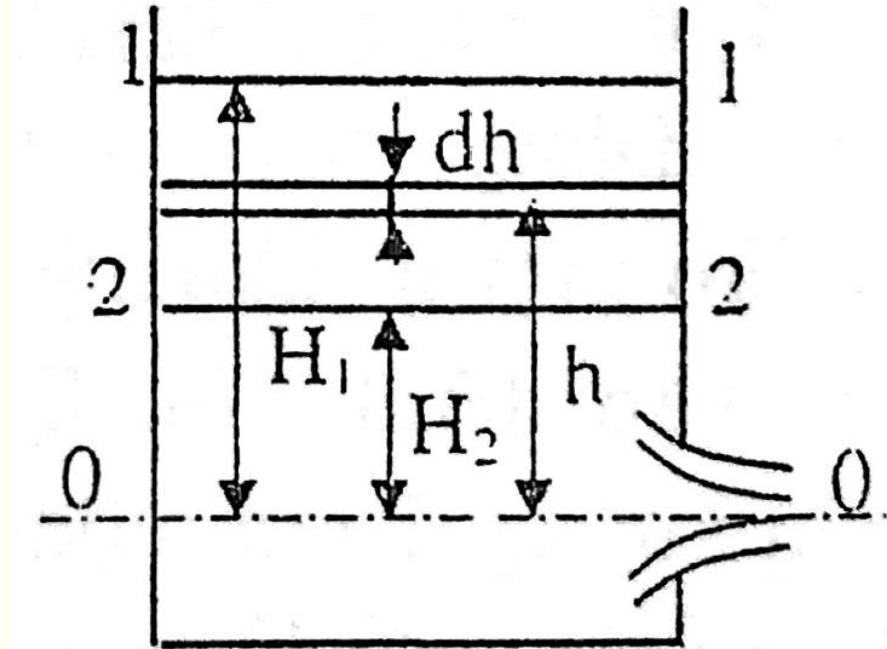
$$H_0 = h_1 - h_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g}$$



Hình 6.4 Dòng chảy ngập qua lỗ nhỏ thành mỏng.

6.2 Tính thủy lực dòng chảy qua lỗ

6.2.4 Tính toán thủy lực dòng chảy tự do qua lỗ nhỏ, thành mỏng, cột áp thay đổi.



Hình 6.5 Dòng chảy tự do qua lỗ nhỏ thành mỏng.

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.1 Phân loại vòi

Dòng chảy qua vòi nói chung cũng bị co hẹp sau mặt cắt một ít (khoảng $0,5d$) sau đó dòng chảy mở rộng ra bám vào thành vòi. Quanh mặt cắt co hẹp có hiện tượng chân không. Hiện tượng chân không trong vòi làm tăng khả năng tháo chất lỏng của vòi so với lỗ có cùng diện tích và cùng cột áp. Đó là đặc điểm cơ bản của vòi.

Một số loại vòi thường gặp là:

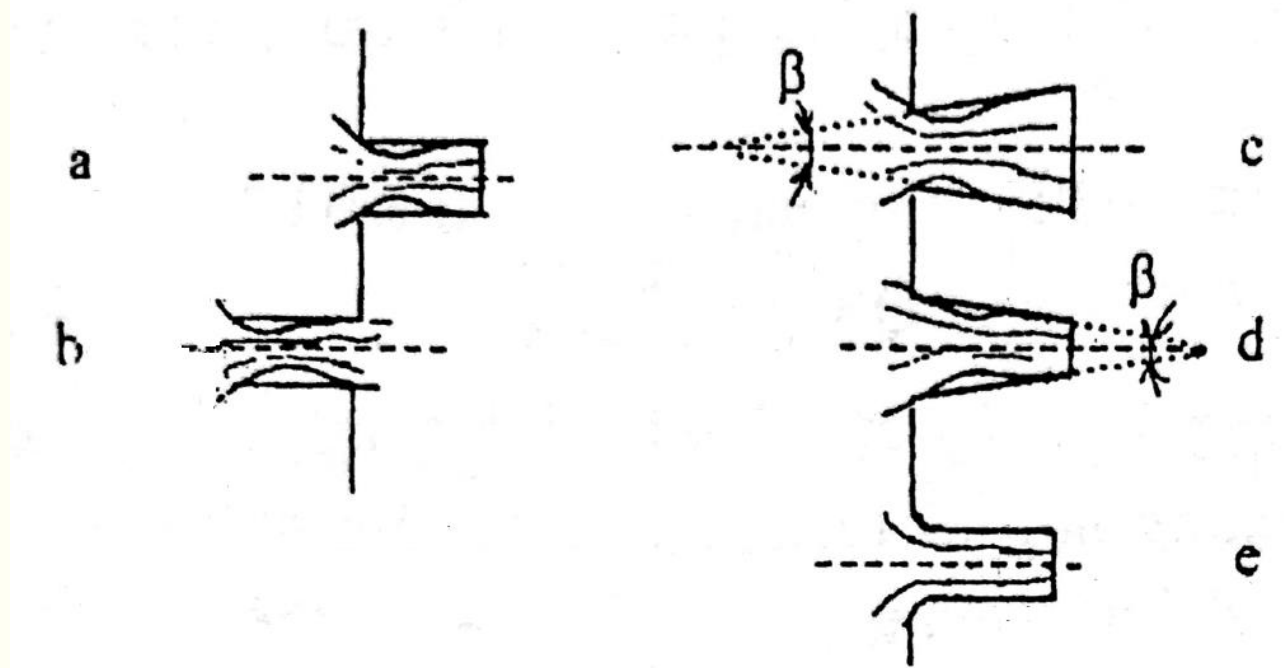
- + *Vòi trụ tròn* (gắn trong hoặc gắn ngoài). Loại này thường dùng để tháo chất lỏng trong các bể chứa
- + *Vòi hình nón cắt mở rộng*. Loại này tháo được lưu lượng lớn, động năng của dòng chảy ra nhỏ nên được dùng trong các thiết bị tưới (hình 6.6c). Góc mở rộng là tốt nhất. Nếu góc mở lớn quá chân không sẽ bị phá hoại.

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.1 Phân loại vòi

+ *Vòi hình nón cụt thu hẹp*. Động năng của dòng chảy ra khỏi vòi khá lớn nên thường sử dụng với các thiết bị chữa cháy, rửa xe...(hình 6.6d). Góc thu hẹp là tốt nhất.

+ *Vòi hình lưu tuyến*. Không gây hiện tượng co hẹp, rất ít cản trở dòng chảy.



Hình 6.6 Phân loại dòng chảy.

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.2 Tính toán thủy lực vòi trụ tròn gắn ngoài, chảy ổn định không ngập

Tương tự như bài toán dòng chảy qua lỗ, ta viết phương trình Bernoulli cho một điểm trên mặt thoáng 1-1 và một điểm là tâm mặt cắt 2-2, mặt chuẩn qua tâm vòi:

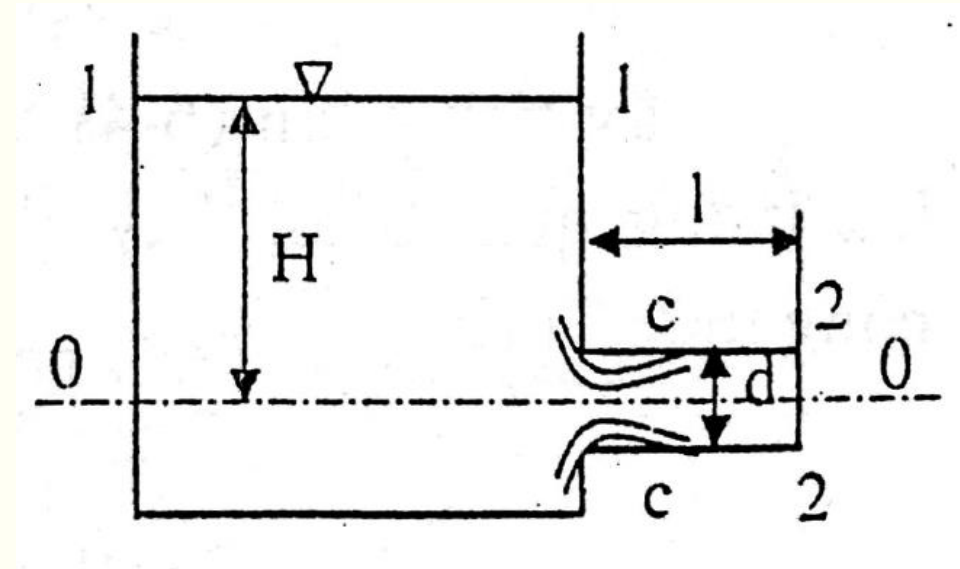
$$H + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = 0 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w12}$$

Với chú ý là h_{w12} bao gồm:

.Tổn thất cục bộ qua lỗ: $h_{c1} = \xi \frac{v_c^2}{2g}$

.Tổn thất cục bộ do mở rộng mặt cắt

$$c-c: h_{c2} = \left(1 - \frac{S_c}{S}\right)^2 \frac{v_c^2}{2g}$$



Hình 6.7 Dòng chảy trụ tròn gắn ngoài.

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.2 Tính toán thủy lực vòi trụ tròn gắn ngoài, chảy ổn định không ngập

Tổn thất dọc đường trên đoạn chiều dài vòi:

$$h_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{v_c^2}{2g}$$

$v = v_2$ là vận tốc trung bình tại mặt cắt ra của vòi.

Thay các giá trị của h_{w12} , ta có:

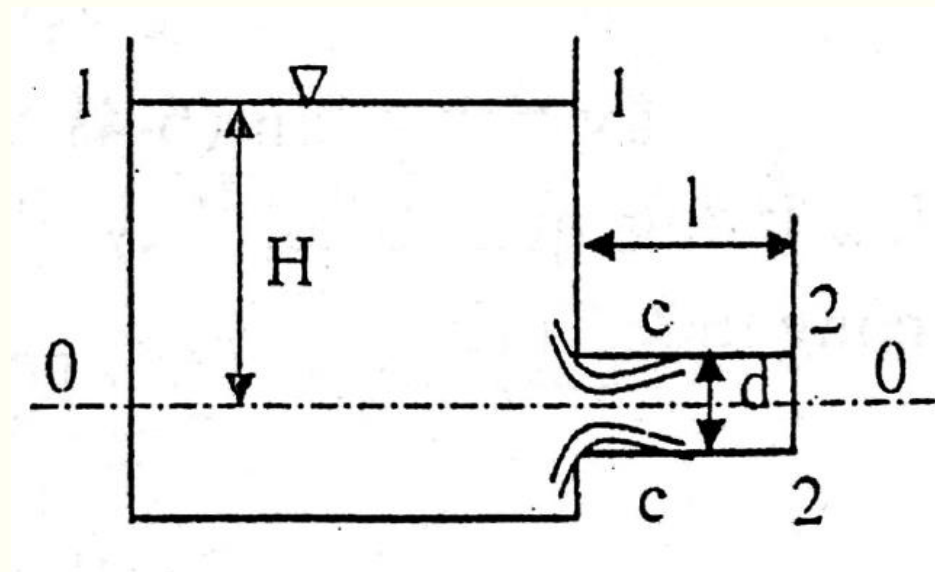
$$H_{w12} = h_{c1} + h_{c2} + h_d = \xi \frac{v_c^2}{2g} + \left(1 - \frac{S_c}{S}\right)^2 \frac{v_c^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v_c^2}{2g}$$

Mặt khác: $v_c \cdot S_c = v \cdot S$

Nên $v_c = \frac{v}{\varepsilon}$. Do đó biểu thức tính h_{w1-2} có thể viết dưới dạng:

$$h_{w12} = \left[\frac{\xi}{\varepsilon^2} + \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \lambda \frac{l}{d} \right] \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \varphi \sqrt{2gH_0}$$



6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.2 Tính toán thủy lực vòi trụ tròn gắn ngoài, chảy ổn định không ngập

Thay vào:

$H_o = H + \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$, ta rút ra:

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\xi}{\varepsilon^2} + (\frac{1}{\varepsilon} - 1)^2 + \lambda \frac{1}{d}}}$$

Lưu lượng chảy qua vòi:

$$Q = vS = \varphi S \sqrt{2gH_o}$$

Tại mặt cắt ra của vòi dòng chảy không bị co hẹp, do đó $\varphi = \mu$. Do đó:

$$Q = \mu S \sqrt{2gH_o}$$

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.2 Tính toán thủy lực vòi trụ tròn gắn ngoài, chảy ổn định không ngập

Bảng hệ số lưu lượng của lỗ, vòi:

Loại lỗ và vòi	μ
Lỗ tròn thành mỏng	0,62
Vòi trụ tròn gắn ngoài	0,82
Vòi trụ tròn gắn trong	0,707
Vòi hình nón cắt mở rộng với $\beta = 5^0 \div 7^0$	0,45 – 0,5
Vòi hình nón cắt thu hẹp với $\beta = 13^0 24'$	0,94
Vòi hình lưu tuyến	0,98

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.3 Hiện tượng chân không trong vòi

a) Tính cột áp chân không

Đối với dòng chảy tự do thì áp suất tại cửa ra sẽ là áp suất khí p_a . Tại mặt cắt co hẹp c-c do vận tốc tăng nên áp suất nhỏ hơn p_a , tức là tại c-c có hiện tượng chân không. Để tính trị số chân không trong vòi ta viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và c-c :

$$H + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = 0 + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + h_{w1c}$$

Tổn thất h_{w1c} từ 1-1 đến c-c chỉ là tổn thất qua lỗ:

$$H_{w1c} = \xi \frac{v_c^2}{2g} = \frac{\xi v^2}{\epsilon^2 2g}$$

Thay h_{w1c} và $v = 0$ vào (6.14), trừ hai vế cho $\frac{P_a}{\gamma}$ ta được:

$$H + \frac{P_1 - P_a}{\gamma} = \frac{\alpha_c + \xi}{\epsilon^2} \frac{v^2}{2g} - \frac{p_a - p_c}{\gamma}$$

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.3 Hiện tượng chân không trong vòi

a) Tính cột áp chân không

Thay $H_o = H + \frac{p_1 - p_a}{\gamma}$ và $h_{ck} = \frac{p_a - p_c}{\gamma}$ vào, ta được:

$$H_o = \frac{\alpha_c + \xi}{\varepsilon^2} \frac{v^2}{2g} - h_{ck} \text{ thay } v = \varphi \sqrt{2gH_o}$$

Ta có:

$$H_o = \frac{\varphi^2 2gH_o}{2g} \frac{\alpha_c + \xi}{\varepsilon^2} - h_{ck}$$

Suy ra:

$$h_{ck} = H_o \left[\left(\frac{\varphi}{\varepsilon^2} \right)^2 + (\alpha_c + \xi) - 1 \right]$$

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.3 Hiện tượng chân không trong vòi

a) Tính cột áp chân không

Nhận xét:

1. Với mỗi loại vòi nhất định thì α , φ , ξ , ε là những giá trị không đổi, vậy h_{ck} chỉ phụ thuộc vào H_0 , với vòi trụ tròn gấn ngoài, thay $\xi = 0,06$; $\varepsilon = 0,63$; $\alpha = 1$; $\varphi = \mu = 0,82$ thì: $h_{ck} = 0,75H_0$

2. Biểu thức tính vận tốc v_c tại mặt cắt S_c rút ra từ phương trình (6.14) có dạng: $v = \varphi \sqrt{2g(H_0 + h_{ck})}$

So sánh biểu thức ta nhận thấy rằng: nhờ có hiện tượng chân không trong vòi mà vận tốc v_c tại mặt cắt co hẹp của vòi lớn hơn của lỗ, do đó lưu lượng qua vòi cũng lớn hơn qua lỗ khi cùng có diện tích mặt cắt và cột áp tác dụng như nhau.

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.3 Hiện tượng chân không trong vòi

b) Hiện tượng xâm thực

Nếu tăng H_0 thì trị số chân không trong vòi cũng tăng lên. Nhưng không thể tùy tiện tăng H_0 lên mãi được vì trị số chân không có giới hạn, xác định bởi trị số áp suất bay hơi p_{bh} của từng loại chất lỏng. Khi H_0 tăng đến một giá trị nào đó thì p_c nhỏ hơn p_{bh} của chất lỏng và chất lỏng ở vùng co hẹp bắt đầu xuất hiện những bọt khí (chất lỏng bị bốc hơi). Những bọt khí này bị dòng chảy cuốn đến vùng có áp suất lớn hơn p_{bh} , chúng bị ngưng tụ lại đột ngột tạo nên khoảng trống làm chất lỏng xung quanh ập tới với vận tốc lớn, gây nên áp suất xung kích cục bộ khá lớn, có khi lên đến hàng trăm at, làm vòi bị ăn rỗ, phá hoại chân không trong vòi. Người ta gọi đó là *hiện tượng xâm thực vòi*.

6.3 Tính thủy lực dòng chảy qua vòi

6.3.3 Hiện tượng chân không trong vòi

b) Hiện tượng xâm thực

Để tránh hiện tượng xâm thực, vòi có thể làm việc bình thường, thì trị số chân không trong vòi không được lớn hơn độ chân không cho phép.

Ví dụ nước ở 20°C có $p_{\text{bh}} = 0,03 \text{ at}$ có $[h_{\text{ck}}] = 9,7\text{m}$. ứng với $[h_{\text{ck}}]$ ta tìm được $H_{0\text{max}} = 12,9\text{m}$. Do đó, điều kiện để vòi trụ tròn gần ngoài làm việc bình thường ở nhiệt độ của nước là 20°C là:

$$l = (3 - 4)d$$

$$h_{\text{ck}} \leq 9,7\text{m} \text{ hoặc } H_0 \leq 12,9\text{m}.$$



The End