

Chương 5: Động LỰC học lưu chất

Bài giảng của TS. Nguyễn Quốc Ý
nguyenquocy@hcmut.edu.vn

Ngày 10 tháng 3 năm 2013

Nội dung cần nắm

- PT bảo toàn năng lượng: PT năng lượng, PT Bernoulli
- Ứng dụng: đo vận tốc/lưu lượng, lỗ vòi...
- PT bảo toàn động lượng
- Ứng dụng PT bảo toàn động lượng: tương tác dòng lưu chất- vật rắn

Bảo toàn năng lượng

PT năng lượng tổng quát

- DL NĐLH thứ nhất: *Năng lượng của một hệ được bảo toàn*
- trong 1 tgđv, $\Delta(\text{năng lượng}) = \Delta(\text{nhiệt}) + \Delta(\text{công})$

$$\frac{D}{Dt} \int_{\text{sys}} e \rho dV = \left(\sum \dot{Q}_{\text{in}} - \sum \dot{Q}_{\text{out}} \right)_{\text{sys}} + \left(\sum \dot{W}_{\text{in}} - \sum \dot{W}_{\text{out}} \right)_{\text{sys}}$$

or

$$\frac{D}{Dt} \int_{\text{sys}} e \rho dV = (\dot{Q}_{\text{net in}} + \dot{W}_{\text{net in}})_{\text{sys}}$$

$e = \check{u} + \frac{V^2}{g} + gz$: NL trên 1 đv khối lượng (nội năng + động năng + thế năng)

Bàn luận:

bảo toàn năng lượng cho khối nước qua turbine, khối nước trong âm kín

Bảo toàn năng lượng

PT năng lượng tổng quát

- dùng Reynolds transport theorem:

$$\frac{D}{Dt} \int_{\text{sys}} e \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{cv}} e \rho dV + \sum e_{\text{out}} \rho_{\text{out}} A_{\text{out}} V_{\text{out}} - \sum e_{\text{in}} \rho_{\text{in}} A_{\text{in}} V_{\text{in}}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{cv}} e \rho dV + \sum e_{\text{out}} \rho_{\text{out}} A_{\text{out}} V_{\text{out}} - \sum e_{\text{in}} \rho_{\text{in}} A_{\text{in}} V_{\text{in}} = (\dot{Q}_{\text{net in}} + \dot{W}_{\text{net in}})_{\text{cv}}$$

- công suất trao đổi = từ trục (bơm, quạt, turbine...): \dot{W}_{shaft} + từ áp suất hai đầu cv: $p A V$, nên

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{cv}} e \rho dV + \sum e_{\text{out}} \rho_{\text{out}} A_{\text{out}} V_{\text{out}} - \sum e_{\text{in}} \rho_{\text{in}} A_{\text{in}} V_{\text{in}} \\ = \dot{Q}_{\text{net in}} + \dot{W}_{\text{shaft net in}} + \sum p_{\text{in}} A_{\text{in}} V_{\text{in}} - \sum p_{\text{out}} A_{\text{out}} V_{\text{out}} \end{aligned}$$

Bảo toàn năng lượng

PT năng lượng tổng quát

energy equation:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} e \rho dV + \sum_{out} \left(\check{u} + \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \right) \rho_{out} A_{out} V_{out} - \sum_{in} \left(\check{u} + \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \right) \rho_{in} A_{in} V_{in} = \dot{Q}_{net, in} + \dot{W}_{shaft, net, in}$$

Xét dòng:

• ổn định $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

• không nén được $\rho = const$

• $\dot{m} = \rho A V$

$$\underbrace{\frac{p_{in}}{\rho g} + \frac{V_{in}^2}{2g} + z_{in}}_{\text{cơ năng vào}} + \underbrace{\frac{\dot{W}_{shaft, net, in}}{\dot{m}g}}_H = \underbrace{\frac{p_{out}}{\rho g} + \frac{V_{out}^2}{2g} + z_{out}}_{\text{cơ năng ra}} + \underbrace{\check{u}_{out} - \check{u}_{in} - \frac{\dot{Q}_{net, in}}{\dot{m}g}}_{h_l}$$

Bàn luận: đơn vị của các số hạng trong PT trên?

Bảo toàn năng lượng

:PT Bernoulli đọc theo đường dòng Xét trường hợp dòng lý tưởng,
không qua máy thủy lực, đọc theo đường dòng từ 1 đến 2:

$$\underbrace{\underbrace{z_1}_{\text{cột áp thế năng}} + \underbrace{\frac{p_1}{\gamma}}_{\text{c.a. áp suất}}}_{\text{cột áp tĩnh}} + \underbrace{\frac{V_1^2}{2g}}_{\text{c.a. vận tốc}} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

cột áp động

PT Bernoulli

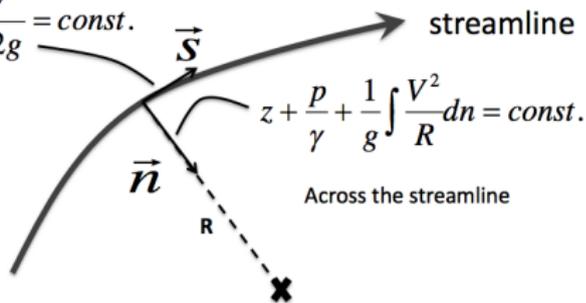
Bàn luận: ĐK để sd PT Bernoulli?,
p: dư hay tuyệt đối, nếu lưu chất tĩnh?

Bảo toàn năng lượng: PT Bernoulli ⊥ đường dòng

- không có thành phần $V^2/2g$
- có thêm as do lực li tâm

Along the streamline:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{const.}$$

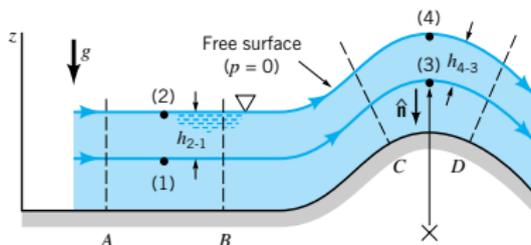


$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{1}{g} \int \frac{V^2}{R} dn = \text{const.}$$

Across the streamline

Bàn luận:
khi R=0?

ví dụ:



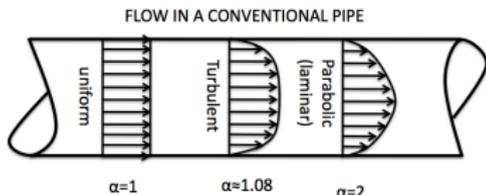
PT Bernoulli: một số khái niệm liên quan- ứng dụng

- ▷ Điểm dừng và áp suất dừng
- ▷ Đường đo áp, đường năng lượng
 - ▶ Đo vận tốc điểm: ống Pito
 - ▶ Đo lưu lượng: ống Ventury, cống, đập tràn
 - ▶ Dòng qua lỗ, vòi

PT năng lượng: 2 mặt cắt ướt dọc theo dòng lưu chất thực

- z, p : tính theo giá trị trung bình
- V : lấy theo giá trị trung bình, để đảm bảo động năng giống nhau, cần hệ số hiệu chỉnh động năng α

$$\rho V A \frac{V^2}{2g} = \alpha \frac{1}{2g} \rho \int_A v^2 v dA \Rightarrow \alpha = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{v}{V} \right)^3 dA$$



- thông thường, trong kỹ thuật, có thể lấy $\alpha = 1$

Phương trình năng lượng:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + H = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_l$$

PT năng lượng: qua máy thủy lực (bơm, quạt, turbine...)

$$H = \frac{\dot{W}_{shaft, net, in}}{\dot{m}g} = \frac{\dot{W}_{shaft, net, in}}{\gamma Q}$$

- Bơm/quạt: $H = H_b > 0$, cột áp bơm/quạt

- Công suất trục bơm/quạt:

$$\dot{W}_{shaft, net, in} = N_b = \gamma Q H_b$$

- Hiệu suất bơm: $\eta_b = \frac{N_b}{N_{động cơ}}$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \begin{cases} +H_b \\ -H_t \end{cases}$$

- Turbine: $H = -H_t < 0$, cột áp turbine

- Công suất trục Turbine:

$$\dot{W}_{shaft, net, in} = N_t = \gamma Q H_t$$

- Hiệu suất turbine: $\eta_t = \frac{N_{động cơ}}{N_t}$

$$= z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_l$$

Bảo toàn động lượng

cho một sys:

$$\frac{D}{Dt} \int_{sys} \vec{V} \rho dV = \sum \vec{F}_{sys}$$

sys \equiv cv:

$$\sum \vec{F}_{sys} = \sum \vec{F}_{cv}$$

Reynolds transport theorem:

$$\frac{D}{Dt} \int_{sys} \vec{V} \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \vec{V} \rho dV + \sum \vec{V}_{out} \rho_{out} Q_{out} - \sum \vec{V}_{in} \rho_{in} Q_{in}$$

Dòng ổn định:

$$\sum \vec{V}_{out} \rho_{out} Q_{out} - \sum \vec{V}_{in} \rho_{in} Q_{in} = \sum \vec{F}_{cv}$$

Bảo toàn động lượng

$$cv = \sum cs \Big|_{out} + \sum cs \Big|_{out}$$

- o vận tốc phân bố đều:

$$\sum \vec{F}_{cv} = \sum_{CS} \rho Q \vec{V} \Big|_{out} - \sum_{CS} \rho Q \vec{V} \Big|_{in}$$

- o vận tốc phân bố không đều:

$$\sum \vec{F}_{cv} = \sum_{CS} \alpha_o \rho Q \vec{V}_{av} \Big|_{out} - \sum_{CS} \alpha_o \rho Q \vec{V}_{av} \Big|_{out}$$

Bảo toàn động lượng

α_o : hệ số hiệu chỉnh động lượng,

$$\alpha_o = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{v}{V_{av}} \right)^2 dA$$

- dòng tầng trong ống: $\alpha_o \approx 1.33$
- dòng rối trong ống: $\alpha_o \approx 1.04$

Trong tính toán kỹ thuật, $\alpha_o = 1.0$: OK!

Bàn luận: so sánh α_o và α ,

chiều thành phần nào theo các phương x, y?

viết PT BTĐL theo hai phương x, y

Cách áp dụng PTBTĐL:

Lực tương tác dòng lưu chất- vật rắn

- * Bước 1, xác định:
 - thể tích kiểm soát *cv*, vẽ lên hình
 - chọn hệ trục tọa độ *Oxy*, *Oxyz*... , vẽ lên hình
- * Bước 2, Phân tích lực và vận tốc
 - Xác định các **ngoại** lực tác dụng lên *cv*:
 - lực khối (trọng lực, lực từ...)
 - lực mặt (áp suất, ma sát...)
 - phản lực: từ vật rắn-> *cv*
 - Xác định vận tốc **vào** và **ra**, vẽ lên hình
- * Bước 3, Viết PTBTĐL theo các phương
 - nếu cần tìm **vận tốc**: PT liên tục, PT năng lượng
 - nếu cần tìm **áp suất**: PT năng lượng
- * Bước 4, tìm ra phản lực \Rightarrow lực, hay các đại lượng khác