

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Química
Fenómenos de Transferência II
2º Teste - 17 de Junho de 2020

1. Experiências de transferência de calor permitiram obter uma correlação para o coeficiente de transferência de calor, h , para um cilindro de um composto A colocado numa corrente de ar:

$$Nu = 0.43 + 0.532 Re^{0.5} Pr^{0.33}$$

- Utilizando a analogia de Chilton-Colburn calcule o coeficiente de transferência de massa.
- Calcule a velocidade de sublimação de um cilindro de A com 1.5cm de diâmetro e 10cm de comprimento. O ar a 310K tem uma velocidade de 3 m/s.
- Será válido, neste caso usar a analogia de Reynolds? Justifique. Discuta a importância da utilização de analogias no cálculo de coeficientes de transferência de massa.
- Como poderia aumentar a velocidade de sublimação?

Dados:

$$P_A^* = 400 \text{ mm Hg} \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 10^5 \text{ Pa} \quad R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$D_{A-\text{ar}} = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \rho = 0.114 \text{ kg/m}^3 \quad \mu = 2.1 \times 10^{-5} \text{ Pa s} \quad k = 0.0273 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$C_p = 1002 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$Nu = \frac{hd}{k} \quad Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad Re = \frac{\rho u d}{\mu}$$

Analogia de Chilton-Colburn $j_H = j_D$

$$\frac{h}{\rho u C_p} Pr^{2/3} = \frac{k_c}{u} Sc^{2/3}$$

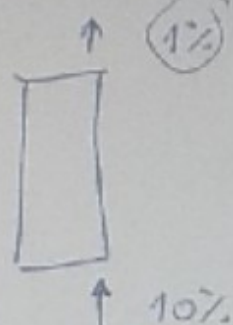
2. Pretende-se remover SO_2 de uma mistura gasosa constituída por SO_2 e ar por absorção utilizando água.

A coluna usada opera em contracorrente a 15°C e 1 atm. A linha de equilíbrio é $y^* = 10x$. A % molar de SO_2 no ar à entrada é 10 % e à saída é de 1 %. Os coeficientes individuais de transferência de massa são:

$$k_y = 2 \text{ mol/h m}^2 \quad k_x = 20 \text{ mol/h m}^2$$

Determine para o topo da coluna:

- As composições interfaciais.
 - A % da resistência total respeitante a cada uma das fases.
 - Os coeficientes globais de transferência de massa K_y e K_x .
 - O fluxo de SO_2 .
 - O valor do fluxo quando usar soluções de NaOH com a concentração crítica de NaOH.
- Comente.



$$y^* = 10x$$

$$k_y = 2 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

$$k_x = 20 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

a) $y_{Ai} = x_{Ai}$

$$y_A = 0.01$$

$$k_y (y_A - y_{Ai}) = k_x (x_{Ai} - x_A)$$

$\parallel \qquad \qquad \parallel$
 $10x_{Ai} \qquad 0$

$$2 (0.01 - 10x_{Ai}) = 20 x_{Ai}$$

$$0.02 = 40 x_{Ai}$$

$$y_{Ai} = 10 x_{Ai}$$

$$y_{Ai} = 5 \times 10^{-3}$$

$$x_{Ai} = \frac{0.02}{40} = 5 \times 10^{-4}$$

b) $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$

$$\% \text{ resist. } = \frac{\frac{1}{2}}{1} = 0.5$$

\uparrow
 50%

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{2} + \frac{10}{20} = 1$$

$$K_y = 1 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

confirm $\frac{\frac{m}{k_x}}{\frac{1}{k_y}} = 0.5$

$$K_y * m = 0.5 k_x$$

$$m = \frac{0.5 \times 20}{1} = 10$$

c) $K_y = 1 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$

$$K_x = ?$$

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m k_y}$$

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{2}{20}$$

$$K_x = 10 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

$$d) N_A = K_y (y_A^* - \underset{\substack{\parallel \\ 0}}{y_A})$$

$$N_A = 1 \times 0.01 = 0.01 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

$$e) N_A = k_y y_A = 2 \times 0.01 = 0.02 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

answer 2X

$$1. a) Re = \frac{0.114 \times 3 \times 1.5 \times 10^{-2}}{2.1 \times 10^{-5}} = 244.3 \quad d = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$v = 3 \text{ m/s}$$

$$Sc = \frac{2.1 \times 10^{-5}}{0.114 \times 9 \times 10^{-6}} = 20.5$$

$$Pr = \frac{2.1 \times 10^{-5} \times 1000}{0.0273} = 0.77$$

$$Nu = 0.43 + 0.532 Re^{0.5} Pr^{0.33}$$

$$Nu = 8.06 = \frac{h d}{k}$$

$$h = 14.67$$

$$\frac{A}{P Cp} Pr^{2/3} = K_c Sc^{2/3}$$

$$K_c = 0.014 \text{ m/s}$$

$$b) W = K_c A c^* =$$

$$c^* = \frac{P^*}{RT} = \frac{400 \times 10^5}{760 \times 8.314 \times 310} = \frac{20.42}{3}$$

$$W = 0.014 \times 0.005 \times 20.42$$

$$A = \pi d L + 2 \frac{\pi d^2}{4} = 0.005 \text{ m}^2$$

$$W = 0.0045 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$c) Sc \neq 1$$

$$d) W \uparrow \quad K_c \uparrow \quad A \uparrow \quad c^* \uparrow$$

$$(0.5V)$$

$$(0.5V)$$

$$(0.5V)$$

1. Experiências de transferência de calor permitiram obter uma correlação para o coeficiente de transferência de calor, h , para um cilindro de um composto A colocado numa corrente de ar:

$$Nu = 0.43 + 0.532 Re^{0.5} Pr^{0.33}$$

- Utilizando a analogia de Chilton-Colburn calcule o coeficiente de transferência de massa.
- Calcule a velocidade de sublimação de um cilindro de A com 1.5cm de diâmetro e 10cm de comprimento. O ar a 310K tem uma velocidade de 3 m/s.
- Será válido, neste caso usar a analogia de Reynolds? Justifique. Discuta a importância da utilização de analogias no cálculo de coeficientes de transferência de massa.
- Como poderia aumentar a velocidade de sublimação?

Dados:

$$P_A^* = 400 \text{ mm Hg} \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 10^5 \text{ Pa} \quad R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$D_{A-\text{ar}} = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \rho = 0.114 \text{ kg/m}^3 \quad \mu = 2.1 \times 10^{-5} \text{ Pa s} \quad k = 0.0273 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$C_p = 1002 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$Nu = \frac{hd}{k}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D}$$

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu}$$

Analogia de Chilton-Colburn $j_H = j_D$

$$\frac{h}{\rho u C_p} Pr^{2/3} = \frac{k_c}{u} Sc^{2/3}$$

$$a) \quad k_c = \frac{h}{\rho C_p} \frac{(Pr)^{2/3}}{(Sc)^{2/3}}$$

$$C_p = \frac{Pr \cdot k}{\mu}$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d}$$

$$k_c = \frac{h}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{(Pr)^{2/3}}{(Sc)^{2/3}}$$

$$Sc = \frac{2,1 \times 10^{-5}}{(0,114)(9, \times 10^{-6})} = 20,47 \quad \downarrow$$

$$Pr = \frac{(2,1 \times 10^{-5})(1002)}{(0,0273)} = 0,77 \quad \downarrow$$

$$N_c = \frac{Nu \cdot \mu}{\rho \cdot d \cdot Pr^{1/3}} \cdot \frac{1}{(Sc)^{2/3}}$$

$$Re = \frac{(0,114)(3)(1,5 \times 10^2)}{2,1 \times 10^{-5}} = 244,3 \quad \downarrow$$

$$N_c = \frac{(0,43 + 0,532(244,3)^{0,5})(0,77)^{0,33}}{(0,114)(1,5 \times 10^{-2})(0,77)^{0,33}(20,47)^{2/3}} (2,1 \times 10^{-5})$$

$$= 1,44 \times 10^{-2} \quad \frac{m}{s}$$

$$b) \omega = K_c \cdot A \cdot C^*$$

$$C^* = \frac{p^*}{RT} = \frac{\frac{400}{760} \times 10^5}{(8.314)(310)}$$

$$C^* = 20.42 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} W &= (0.0144) \left(2\pi \left(\frac{1.5 \times 10^{-2}}{2} \right)^2 + 2\pi \left(\frac{1.5 \times 10^{-2}}{2} (10 \times 10^{-2}) \right) \right) (20.42) \\ &= 1.5 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{s}} \end{aligned}$$

c) Não, porque $Sc \neq 1$

$$d) \omega \uparrow = K_c \uparrow A \uparrow C^* \uparrow$$

2. Pretende-se remover SO_2 de uma mistura gasosa constituída por SO_2 e ar por absorção utilizando água.

A coluna usada opera em contracorrente a 15°C e 1 atm. A linha de equilíbrio é $y^* = 10x$. A % molar de SO_2 no ar à entrada é 10 % e à saída é de 1 %. Os coeficientes individuais de transferência de massa são:

$$k_y = 2 \text{ mol/h m}^2$$

$$k_x = 20 \text{ mol/h m}^2$$

Determine para o topo da coluna:

- As composições interfaciais.
- A % da resistência total respeitante a cada uma das fases.
- Os coeficientes globais de transferência de massa K_y e K_x .
- O fluxo de SO_2 .
- O valor do fluxo quando usar soluções de NaOH com a concentração crítica de NaOH.
Comente.

Handwritten notes and diagram:

Diagram of a counter-current absorption column. At the top (gas inlet), $y_{A_2} = 1\%$ and H_2O is added. At the bottom (gas outlet), $y_{A_1} = 10\%$ and H_2O is removed. The equilibrium line is $y^* = 10x$.

Handwritten equations:

$$y^* = 10x$$

$$K_y = 2 \frac{\text{mol}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$K_x = 20 \frac{\text{mol}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

a) x_{Ai} e y_{Ai} ?

$$N_A = K_y (y_A - y_{Ai})$$

$$N_A = K_x (x_{Ai} - x_A)$$

$$y_{Ai} = 10x_{Ai}$$

$$2 (y_{A_2} - 10x_{Ai}) = 20 (x_{Ai} - x_{A_2})$$

$$(2)(0,01) - 20 X_{Ai} = 20 X_{Ai} (2)(0)$$

$$X_{Ai} = \frac{(2)(0,01)}{40} = 5 \times 10^{-4}$$

$$y_{Ai} = 5 \times 10^{-3}$$

$$b) \frac{y_A - y_{Ai}}{y_A - y_A^*} \times 100 = 50\%$$

$\hookrightarrow y_A^* = (10)(0)$

% resist
phase gas = 50%

% resist^l
phase liq = 50%

$$c) K_y = (0,5)(2) = 1$$

$$K_x = (0,5)(20) = 10$$

$$d) N_A = (2)(0,01 - 5 \times 10^{-3})$$

$$= 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{h.m}^2}$$



e) $N_A = K_y (y_A - \cancel{y_{Ai}})$ reacção
Imediata
na interface

$$= (2)(0,01) = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{h.m}^2}$$

