

Principi di Ingegneria Chimica
Anno Accademico 2010-2011

Cognome	Nome	Matricola	Firma

Problema 1. Un serbatoio cilindrico di diametro D_1 è pieno fino ad un livello H_1 di acqua. Al tempo 0 sul fondo viene prodotto un foro di diametro d , attraverso il quale il serbatoio si svuota. L'acqua viene raccolta in una pozza, cilindrica anch'essa, di diametro D_2 nella quale si stabilisce un battente H_2 . Se la pozza è esposta all'aria, a pressione P , temperatura T e umidità relativa U , calcolare:

1. Il tempo di svuotamento del serbatoio,
2. La portata di evaporazione dell'acqua dalla pozza (il coefficiente di scambio di materia sia k),
3. Il tempo necessario affinché la pozza si prosciughi.

Dati: $D_1 = 1$ m, $H_1 = 2$ m, $d = 5$ cm, $D_2 = 10$ m, $P = 1$ bar, $T = 25^\circ\text{C}$, $U = 40\%$, $k = 10^{-2}$ m/s.

Problema 2. Una sferetta di materiale poroso, di diametro d e densità ρ_S , è carica di un reagente chimico A con una concentrazione iniziale $C_{A0}^{(S)}$. La sferetta è mantenuta in sospensione mediante un getto d'aria pura, a temperatura T e pressione P , diretto verso l'alto (l'aria è alla velocità terminale di caduta della sferetta, il sistema è noto come *letto fluido*). Il composto A diffonde dall'interno della sferetta verso l'aria esterna. I coefficienti di diffusione sono D_{AS} nel solido e D_{AG} nel gas. Tra la concentrazione in fase solida e la concentrazione in fase gas sussiste la relazione di equilibrio $C_A^{(S)} = K C_A^{(G)}$. Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sferetta,
2. La portata iniziale di composto A che lascia la sferetta,

Determinare poi se il trasporto del composto A si può descrivere a parametri distribuiti o concentrati, e calcolare

3. dopo quanto tempo la concentrazione nella sfera (se è applicabile l'analisi a parametri concentrati) ovvero al centro della sfera (se è applicabile l'analisi a parametri distribuiti) si dimezza rispetto al valore iniziale.

Dati. $d = 500$ μm , $\rho_S = 1200$ kg/m^3 , $C_{A0}^{(S)} = 25$ mol/m^3 , $T = 30^\circ\text{C}$, $P = 1$ bar, $D_{AS} = 10^{-10}$ m^2/s , $D_{AG} = 10^{-7}$ m^2/s , $K = 10^5$.

Istruzioni: compilare con i propri dati la parte alta di questo foglio; per le risposte ai problemi utilizzare tutte e sole le facciate di questo foglio.

Compito scritto – 19 luglio 2010



Problema 1. Un serbatoio cilindrico di diametro D_1 è pieno fino ad un livello H_1 di acqua. Al tempo 0 sul fondo viene prodotto un foro di diametro d , attraverso il quale il serbatoio si svuota. L'acqua viene raccolta in una pozza, cilindrica anch'essa, di diametro D_2 nella quale si stabilisce un battente H_2 . Se la pozza è esposta all'aria, a pressione P , temperatura T e umidità relativa U , calcolare:

1. Il tempo di svuotamento del serbatoio,
2. La portata di evaporazione dell'acqua dalla pozza (il coefficiente di scambio di materia sia k),
3. Il tempo necessario affinché la pozza si prosciughi.

Dati: $D_1 = 1$ m, $H_1 = 2$ m, $d = 5$ cm, $D_2 = 10$ m, $P = 1$ bar, $T = 25^\circ\text{C}$, $U = 40\%$, $k = 10^{-2}$ m/s.

$$D_1 := 1 \cdot \text{m} \quad H_1 := 2 \cdot \text{m} \quad d := 5 \cdot \text{cm} \quad D_2 := 10 \cdot \text{m} \quad P := 1 \cdot \text{bar} \quad T_{\text{ww}} := 25^\circ\text{C} \quad U := 40\%$$

$$R_{\text{ww}} := 8.314 \cdot \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \quad k := 10^{-2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1} = 6.263 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{KPa} := 10^3 \cdot \text{Pa}$$

$$\rho \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot \left(\frac{d}{dt} h \right) = -\rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \frac{1}{2}$$

$$t^\circ := \left[-\left(\frac{D_1}{d} \right)^2 \cdot \frac{2}{\sqrt{2 \cdot g}} \cdot \left(-H_1^{0.5} \right) \right] = 4.258 \text{ min} \quad t^\circ = 255.464 \text{ s}$$

$$h(0) = H_1$$

$$H_2 := H_1 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 = 2 \cdot \text{cm}$$

$$\rho := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad A_{\text{ww}} := \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = 78.54 \text{ m}^2$$

$$M := 18 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mol}} \quad C_{\text{ww}} := \frac{P}{R \cdot T} = 40.342 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{sat}}(T) := \exp\left(16.3872 - \frac{3885.70 \cdot \text{K}}{T - 42.98 \cdot \text{K}}\right) \cdot \text{KPa}; P_{\text{sat}}(T) = 3.188 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$y_A := \frac{P_{\text{sat}}(T)}{P} = 0.032 \quad y_{A,\text{inf}} := y_A \cdot U = 0.013$$

$$W_A := M \cdot A \cdot k \cdot C_{\text{ww}} \cdot (y_A - y_{A,\text{inf}}) = 0.011 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$C \cdot y_A = 1.286 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \quad C \cdot y_{A,\text{inf}} = 0.514 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{W_A}{M} = 0.606 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\rho \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot \left(\frac{d}{dt} h \right) = -W_A$$

$$h(t) - H_2 = -W_A \cdot \frac{4}{\rho \cdot \pi \cdot D_2^2} \cdot t$$

$$t_{\text{ww}}^\circ := \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot \frac{H_2}{W_A} = 40.001 \cdot \text{hr} \quad t^\circ = 1.667 \cdot \text{day}$$

$$t^\circ = 2.4 \times 10^3 \text{ min}$$

$$t^\circ = 1.44 \times 10^5 \text{ s}$$

Problema 2. Una sferetta di materiale poroso, di diametro d e densità ρ_s , è carica di un reagente chimico A con una concentrazione iniziale $C_{A0}^{(S)}$. La sferetta è mantenuta in sospensione mediante un getto d'aria pura, a temperatura T e pressione P , diretto verso l'alto (l'aria è alla velocità terminale di caduta della sferetta, il sistema è noto come letto fluido). Il composto A diffonde dall'interno della sferetta verso l'aria esterna. I coefficienti di diffusione sono D_{AS} nel solido e D_{AG} nel gas. Tra la concentrazione in fase solida e la concentrazione in fase gas sussiste la relazione di equilibrio $C_A^{(S)} = K C_A^{(G)}$. Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sferetta,
2. La portata iniziale di composto A che lascia la sferetta,

Determinare poi se il trasporto del composto A si può descrivere a parametri distribuiti o concentrati, e calcolare

3. dopo quanto tempo la concentrazione nella sfera (se è applicabile l'analisi a parametri concentrati) ovvero al centro della sfera (se è applicabile l'analisi a parametri distribuiti) si dimezza rispetto al valore iniziale.

Dati. $d = 500 \mu\text{m}$, $\rho_s = 1200 \text{ kg/m}^3$, $C_{A0}^{(S)} = 25 \text{ mol/m}^3$, $T = 30^\circ\text{C}$, $P = 1 \text{ bar}$, $D_{AS} = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{AG} = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $K = 10^5$.

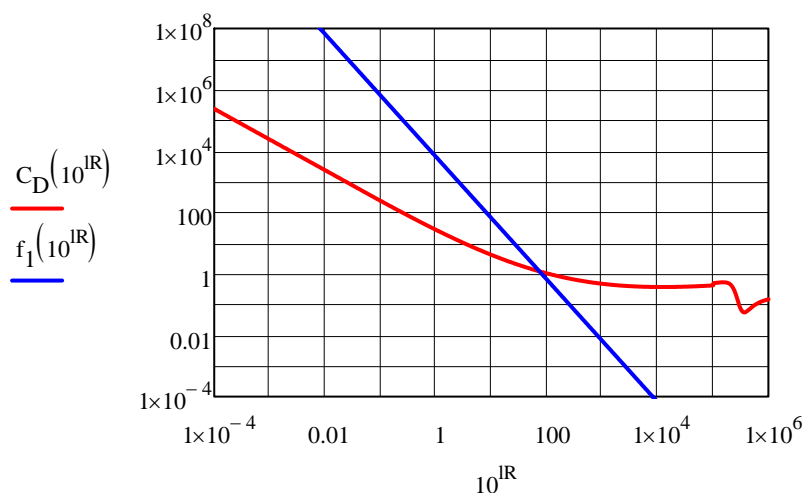


$$\begin{aligned}
 d &:= 500 \cdot \text{micron} & \rho_s &:= 1200 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & T &:= 30^\circ\text{C} = 303.15 \text{ K} & P &:= 1 \cdot \text{bar} \\
 \rho &:= \rho_A(T) = 1.166 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \mu &:= \mu_A(T) = 1.866 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \\
 C &:= \frac{d \cdot \rho}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot d \cdot g \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} = 81.024 & v_{\text{Newton}} &:= \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d}{0.44} \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)} = 3.908 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 f_1(\text{NRe}) &:= C^2 \cdot \text{NRe}^{-2} & \text{NRe} &:= v_{\text{Newton}} \cdot \frac{d \cdot \rho}{\mu} = 122.148 & f_1(\text{NRe}) &= 0.44 & C_D(\text{NRe}) &= 0.949
 \end{aligned}$$

Given $f_1(\text{NRe}) = C_D(\text{NRe})$ $\text{NRe}_{\text{Minerr}} := \text{Minerr}(\text{NRe}) = 73.65$

$$f_1(\text{NRe}) = 1.21 \quad C_D(\text{NRe}) = 1.21 \quad v := \frac{\text{NRe} \cdot \mu}{d \cdot \rho} = 2.356 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

IR := -4, -3.99 .. 6



$$D_{AS} := 10^{-10} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$D_{AG} := 10^{-7} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$K := 10^5 \quad A := 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$C_{A0S} := 25 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \quad V := \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3$$

$$N_{Sc} := \frac{\nu_A(T)}{D_{AG}} = 160.03 \quad N_{Sh} := 2 + 0.6 \cdot N_{Re}^{0.5} \cdot N_{Sc}^{0.33} \quad N_{Sh} = 29.487 \quad k_c := \frac{D_{AG}}{d} \cdot N_{Sh} \quad k_c = 5.897 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$W_{A0} := A \cdot k_c \cdot \frac{C_{A0S}}{K} = 1.158 \times 10^{-12} \frac{mol}{s}$$

$$k_c \cdot \frac{C_{A0S}}{K} = 1.474 \times 10^{-6} \frac{mol}{m^2 \cdot s}$$

$$N_{Bi.mat} := \frac{k_c}{\frac{K \cdot D_{AS}}{d}} = 0.295$$

Parametri concentrati

$$V \cdot \left(\frac{d}{dt} C_{AS} \right) = -W_A = -A \cdot k_c \cdot (C_{AG} - C_{AGinf}) = -A \cdot k_c \cdot \frac{C_{AS}}{K}$$

$$\tau := \left(\frac{A \cdot k_c}{V \cdot K} \right)^{-1} = 1.413 \times 10^3 \text{ s}$$

$$C_{AS}(0) = C_{A0S}$$

$$\ln \left(\frac{C_{AS}}{C_{A0S}} \right) = -\frac{t}{\tau}$$

$$t_{\frac{1}{2}}^o := -\tau \cdot \ln \left(\frac{1}{2} \right) = 979.46 \text{ s}$$