FT II – Fundamentos: Transferencia de massa

Felipe B. Pinto 61387 – MIEQB

21 de julho de 2024

Conteúdo

1 Operações de transferencia de massa

1.1 Destilação

- Líquido–Vapor
- Todos os componentes tem duas fases
- Composição diferente em cada fase

1.2 Absorção Gasosa

- Gás–Liquido
- Apenas uma componente se distribui

1.3 Secagem

- Gás–Sólido
- Difusão do líquido presente no sólido para o gás

1.4 Extração Líquido–Líquido

- Solução heterogenea
- Solvente + Solução $\rightarrow$ Extrato + Resíduo

2 Composições

Concentração mássica

$$\rho_A = \frac{m_A}{V} \qquad \rho = \sum_i \rho_i$$

Concentração molar

$$c_A = \frac{\rho_A}{M_A} = \frac{N_A}{v} = \frac{p_A}{RT}$$

Fração molar

$$y_A = \frac{c_A}{c} = \frac{p_A/(RT)}{P/(RT)} = \frac{p_A}{P}$$

Exemplo 1

A composição molar de uma mistura gasosa a $273\,\mathrm{K}$ e $1.5\,\mathrm{E}^5\,\mathrm{Pa}$ é

O_2	CO	CO_2	N_2
7%	10%	15%	68%

Determine

E1 a)

A composição em percentagem mássica

Resposta

$$\rho_X = \frac{m_X \,\frac{\mathrm{g\ (X)}}{\mathrm{mol}}}{M\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = \frac{100\,m_X}{M}\,\frac{\%\mathrm{g_X}}{\mathrm{g}};$$

$$m_X\,\frac{\mathrm{g_X}}{\mathrm{mol}} = \frac{M_X\,\mathrm{g_X}}{\mathrm{mol_X}}\,\frac{c_X\,\mathrm{mol_X}}{\mathrm{mol}} = M_X\,c_X\,\frac{\mathrm{g_X}}{\mathrm{mol}};$$

$$M\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} = \sum m_X\,\frac{\mathrm{g\ (X)}}{\mathrm{mol}} \implies$$

$$\implies \rho_X = \frac{100\,M_X\,c_X}{\sum m_X}\,\frac{\%\mathrm{g_X}}{\mathrm{g}}$$

	O_2	CO	CO_2	N_2
m_x	2.24	2.80	6.60	19.04
ρ_X	7.301	9.126	21.512	62.060

$M = 30.68$

E1 b)

A massa específica da mistura gasosa

Resposta

Assumindo gás ideal.

$$\rho = \frac{M\,n}{V} = \frac{M\,n}{\frac{n\,R\,T}{P}} = \frac{M\,P}{R\,T} \cong \frac{30.68\,\mathrm{E}^{-}3 * 1.5\,\mathrm{E}^5}{8.314 * 273.15} \cong 2.026\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$$

3 Velocidades

Velocidade mássica

$$\boldsymbol{v} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{\rho_i}\, \boldsymbol{v_i}}{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{\rho_i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{\rho_i}\, \boldsymbol{v_i}}{\boldsymbol{\rho}}$$

Velocidade média molar

$$\boldsymbol{V} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{c_i}\, \boldsymbol{v_i}}{\boldsymbol{c}}$$

Velocidade relativa

Velocidade do componente i relativamente à velocidade média mássica/molar

$$\boldsymbol{\Delta v_i = v_i - v}$$
$$\boldsymbol{\Delta V_i = v_i - V}$$

4 Coeficiente de Difusão

$$D = f(P, T, \text{natureza do componente})$$
$$J_A = -D_{A,B}\,\nabla c_A$$

Valores típicos

Gases	$(1 \rightarrow 10)\,\mathrm{E}^{-5}$
Líquidos	$(0.5 \rightarrow 2)\,\mathrm{E}^{-9}$
Sólidos	$1\,\mathrm{E}^{-24} \rightarrow 1\,\mathrm{E}^{-12}$

5 Lei da difusão

1ª Lei de Fick

$$\boldsymbol{J_A = -D_{A,B} \nabla c_A}$$

$D_{A,B}$ Coeficiente de difusão

Sistemas

Unidirecional

$$\boldsymbol{J_{A,z} = -D_{A,B} \frac{\mathrm{d}c_A}{\mathrm{d}z}}$$

Isobárico e isotérmico

$$\boldsymbol{J_{A,z} = -c\, D_{A,B} \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z}}$$

6 Fluxo máximo (molar) de i

$$\boldsymbol{N_A = c_A\, v_A = y_A(N_A + N_B) - c\, D_{A,B}\, \nabla y_A}$$

$$\boldsymbol{N_{A,z} = y_A(N_{A,z} + N_{B,z}) - c\, D_{A,B}\, \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z}}$$

$$J_{A,z} = c_A(v_{A,z} - V_z) = -c\, D_{A,B}\, \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z} \implies$$

$$\implies c_A\, v_{A,z} = c_A\, v_z - c\, D_{A,B}\, \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z} = c_A \left(\frac{c_A\, v_{A,z} + c_B\, v_{B,z}}{c}\right) - c\, D_{A,B}\, \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z} =$$

$$= y_A\, (c_A\, v_{A,z} + c_B\, v_{B,z}) - c\, D_{A,B}\, \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z};$$

$$N_A = c_A\, v_A \implies$$

$$\implies c_A\, v_{A,z} = N_{A,z} = y_A\, (N_{A,z} + N_{B,z}) - c\, D_{A,B}\, \frac{\mathrm{d}y_A}{\mathrm{d}z} \implies$$

$$\implies N_A = y_A\, (N_A + N_B) - c\, D_{A,B}\, \nabla y_A$$

6.1 Formas equivalentes para fluxo de massa em sistemas binarios (A,B)

Flux	Gradient	Fick rate eq	Restrictions
n_A	$\nabla\omega_A$	$n_A = -\rho\, D_{A,B}\, \nabla\omega_A + \omega_A(n_A + n_B)$	
	$\nabla\rho_A$	$n_A = -\ D_{A,B}\, \nabla\rho_A + \omega_A(n_A + n_B)$	Constant ρ
j_A	$\nabla\omega_A$	$j_A = -\rho\, D_{A,B}\, \nabla\omega_A$	
	$\nabla\rho_A$	$j_A = -\ D_{A,B}\, \nabla\rho_A$	
N_A	∇y_A	$N_A = -c\, D_{A,B}\, \nabla y_A + y_A(N_A + N_B)$	
	∇c_A	$N_A = -\ D_{A,B}\, \nabla c_A + y_A(N_A + N_B)$	Constant c
J_A	∇y_A	$J_A = -c\, D_{A,B}\, \nabla y_A$	
	∇c_A	$J_A = -\ D_{A,B}\, \nabla c_A$	