

气液双搅拌无梯度反应器 混合及传质特性的研究*

阎裕林

(郑州工学院化工系)

摘 要: 本文设计和制作了气液双搅拌无梯度反应器, 安装了实验设备, 实验考察了该反应器的混合特性及传质特性, 为气液反应过程的开发及开展动力学研究奠定了基础。

关键词: 气液反应器; 双搅拌; 混合特性; 传质特性

中图分类号: TQ051.7

气液反应是伴有化学反应的传质过程, 又称为化学吸收操作。该过程属两相流动, 传递关系颇为复杂。尽管化学吸收理论有了很大的发展, 并对工业生产所用设备选型与强化过程能起指导性作用, 但是应用化学吸收理论, 定量地设计气液反应设备, 尚待进一步完善。再者, 气液反应过程的开发, 离不开吸收动力学的研究, 这就需要设计实验室规模的气液反应器。常见的气液反应器有湿壁塔、圆盘塔、搅拌釜等, 其中以搅拌釜用途最广。

本文设计的气液双搅拌气液反应器是在原搅拌釜^[1]的基础上加以改进, 使气液搅拌单独进行, 每个搅拌器的速度可独立改变。使得实验更加灵活方便。

考虑到气液反应器的传质及混合特性往往会与其结构、型式、桨叶形状及有无挡板等因素有关, 因此, 反应器在用于吸收研究之前, 必须首先测定其混合特性和传质特性。本文旨在求取理想混合时间, 气、液相传质系数等, 为气—液吸收体系动力学研究提供基础数据。

2 实验研究

2.1 实验装置

实验采用有机玻璃制作的气液双搅拌无梯度反应器, 内经 0.079 米, 气室高 0.095 米, 液室高 0.085 米, 反应器内设置四个垂直挡板, 四叶平板式搅拌桨分别设置于气、液主体中部。气液搅拌轴分别采用汞封和机械密封, 另外, 反应器还装有水夹套, 以维持恒

* 收稿日期: 1994-05-09

温。

实验流程如图 1。

- | | |
|-----------|-----------|
| 1、气体钢瓶 | 2、不锈钢调节阀 |
| 3、转子流量计 | 4、U 型压差计 |
| 5、皂膜流量计 | 6、气体混合器 |
| 7、交流调速电机 | 8、涡轮减速器 |
| 9、水浴搅拌电机 | 10、直流调速电机 |
| 11、恒温水浴 | 12、气液反应器 |
| 13、尼龙齿轮 | 14、进料液漏斗 |
| 15、缓冲器 | 16、碱液吸收瓶 |
| 17、固体碱吸收管 | V、调节阀 |

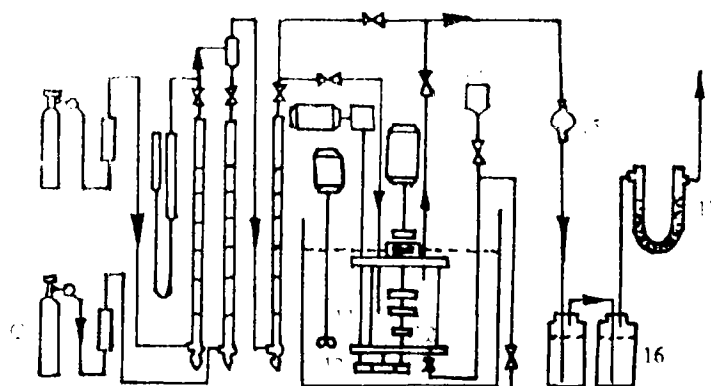


图 1. 实验流程图

2.2 实验方法

实验时, 来自钢瓶中的 CO_2 气体, 减压至 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 后, 经稳压、稳流调节, 与来自另一钢瓶中的 N_2 在气体混合器中混合, 进入水饱和器。经温度、压力、流量等一系列计量后进入反应器, 与吸收剂进行反应吸收。由恒温水浴控制吸收温度。气液两相搅拌转速用 XJP—10 型转速表测定。实验过程中反应器的搅拌强度要求务必使气液界面平整。此时, 气液相界面面积按反应器几何面积计算。反应器内液体温度等于恒温水浴温度。

在反应器前后, 设有 CO_2 取样支线, 以便测定气体中 CO_2 含量。

气相中 CO_2 含量用 102G 气相色谱仪检测, $\Phi 3$ 不锈钢柱, 柱长 2.0m, 内充 GDX—104 固定相, 柱温 60°C , 氧气作载气, 流量 $40\text{ml}/\text{min}$, 桥电流 180mA, 热导检测器。配有 CDMC—1B 型色谱数据处理机。

CO_2 的吸收通量可由下式计算:

$$N_{\text{CO}_2} = \frac{273.15P(V_{in}Y_{in} - V_{out}Y_{out})}{101.3 \times 22.4 \times T \times F} \quad (1)$$

3 实验结果与讨论

3.1 反应器的混合特性

实验采用示踪法, 测定示踪物从进入反应器到浓度达到均匀所需的时间。示踪物为 KCl 饱和溶液, 用电导率仪配合记录仪来完成示踪检测。

实验在 25°C ; 不同的搅拌转速下, 对气液双搅拌无梯度反应器的混合特性进行了测定, 结果如图 2 所示:

将上述结果用回归分析得:

$$t_m = 1.71 + 359.9 / N_L \quad (2)$$

式 (2) 的相关系数 $R = 0.989$ 。

由图(2)知,反应器的混合时间随着搅拌强度的增加而缩短。当液相搅拌转速高于110r.p.m时,混合时间小于5秒,符合文献^[2]报导要求,此时可认为液相总体达到理想混合。

根据Bennett的研究成果^[3]及本文实验条件可知,在实验条件下($N_G > 100\text{r.p.m}$)气相的理想混合是可以得到充分保证的。

3.2 反应器的传质特性

①气相传质系数 k_g 的测定

依照吸收研究 k_g 测定的经典方法^{[4]、[5]},本研究采用图1所示的实验装置,以KOH溶液作吸收剂,对 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 混合气体进行了吸收实验。结果表明,当吸收液KOH浓度大于0.9M时,吸收反应呈瞬时反应,反应主要在气液界面上完成。此时液膜阻力可忽略, CO_2 吸收通量与 CO_2 分压的关系为:

$$N_{\text{CO}_2} = k_{g\text{CO}_2-\text{N}_2} \cdot P_{\text{CO}_2} \tag{3}$$

本研究在25℃,常压下,维持液相搅拌转速, $N_L = 120\text{r.p.m}$ KOH浓度1.5M,分别测得了不同气相搅拌转速下 CO_2 吸收速率及其 CO_2 分压,从而可按式(3)求得气液反应器 $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 系统的气相传质系数 $k_{g\text{CO}_2-\text{N}_2}$ 。

实验结果如图3

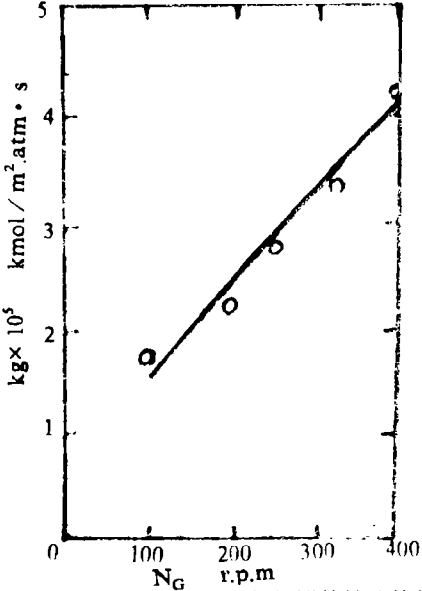


图3 气相传质系数与气相搅拌转速的关系

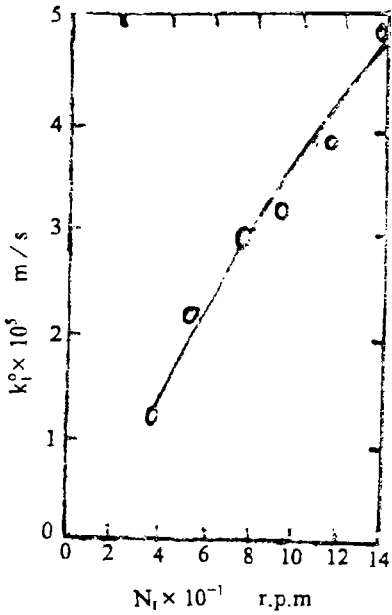


图4 液相传质系数 k_L^0 与搅拌转速 N_L 的关系

利用非线性参数估值算法处理实验数据,得:

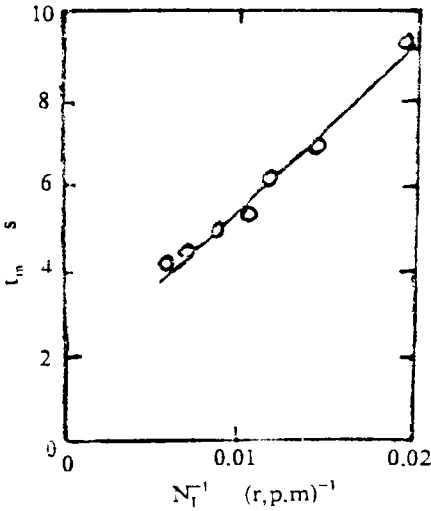


图2 混合时间 t_m 与

液相搅拌转速 N_L 关联图

$$k_{g_{CO_2}-N_2} = 9.55 \times 10^{-7} N_G^{0.614} \quad (4)$$

②液相传质系数 k_l^0 的测定

实验在 25℃, 用 300ml 高纯蒸馏水作吸收剂, 气体采用纯 CO_2 , 控制反应器气相搅拌速度 $N_G = 250 \text{ r.p.m.}$, 在一定的液相搅拌速度, 测定 CO_2 吸收速率及其相应的液相主体浓度, 采用式 (4) 计算液相传质系数

$$N_{CO_2} = k_{l_{CO_2}-N_2}^0 (C_{CO_2}^i - C_{CO_2}^l) \quad (5)$$

实验结果如图 4。

由图 4 看出, 液相传质系数 k_l^0 随着液相搅拌转速 N_L 的提高而增加。

采用非线性参数估值算法, 得到下列结果:

$$k_{l_{CO_2}-H_2O}^0 = 8.39 \times 10^{-7} N_L^{0.75} \quad (6)$$

式(6)的相关系数 $R = 0.988$

4 结 论

本文建立了气液双搅拌无梯度反应器的混合及传质特性实验装置, 并测定了混合时间, 气相传质系数液相传质系数与搅拌速度的关系。实验结果表明, 当气、液相搅拌转速达到 110r.p.m 以上时, 气、液两相均可达到理想混合状态。随着搅拌转速 N_G , N_L 增加, 气、液相传质系数 k_g , k_l^0 相应增加。

符号说明:

F —气液相界面积 m^2

i —相界面

k_g —气相传质系数, $kmol/m^2 \cdot atm \cdot s$

k_l^0 —液相传质系数, m/s

N_{CO_2} — CO_2 , 传质通量, $kmol/m^2 \cdot s$

N_G —气相搅拌转速, r.p.m

N_L —液相搅拌转速, r.p.m

P —气相总压, MPa

P_{CO_2} — CO_2 , 分压, MPa

R —相关系数

T —绝对温度, K

tm —混合时间, S

V_{in} —气相进入反应器的流量, m^3/s

V_{out} —气相出反应器的流量, m^3/s

Y_{in} —进气中 CO_2 含量, 摩尔分率

Y_{out} —出气中 CO_2 含量, 摩尔分率

参 考 文 献

- 1 Levenspiel, O.; G0dfrey, J. H. Chem. Eng. Sci. 1974, 29, 1723.
- 2 张碧江. 化学工程. 1975, 5.
- 3 Bennetc, C. O. etal. Chem. Eng. Sci. 1972, 27, 2255.
- 4 Sada, E.; etal. Chem. Eng. Sci. 1976, 31, 839.
- 5 Sada, E.; etal. Chem. Eng. Sci. 1978, 33, 315.

An Investigation on the Mixing Time and Mass Transfer in Double-Mixed Gradientless Gas-Liquid Contactor

Lu Yulin

(Department of Chemical Engineering, Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: In this paper the double-mixed gradientless gasliquid contactor was designed. And the experiment apparatus was set up. The investigation was made on the mixing time and mass transfer in the Contactor. The experimental results can be used as the foundation for kinetic study on the new gas-liquid absorption system.

Keywords: Gas-Liquid Contactor, Double-Mixing Characteristics, Mass Transfer