

# 膜基气体吸收过程中活化剂的活化性能比较

陆建刚, 郑有飞, 陈敏东, 何都良, 赵晓莉, 张慧

(南京信息工程大学环境科学与工程系, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 将 AMP(2-甲基-2-氨基-1-丙醇)和 PZ(哌嗪)作为活化剂, 分别添加于 MDEA(N-甲基二乙醇胺)溶液中组成复合溶液, 在膜吸收装置上考察了其吸收 CO<sub>2</sub> 性能. 通过气液流速、气相组成、液相浓度、负载、膜组件结构和膜结构形态等对总传质系数  $K_{ov}$  影响的比较, 研究了具有多氨基环状结构的化合物 PZ 和空间位阻结构的化合物 AMP 在膜气体吸收过程中对传质的加强作用. 结果表明, 多氨基化合物 PZ 比空间位阻胺 AMP 活化效应更大, PZ 对传质的加强作用高于 AMP, 流体力学因素对传质的影响有限, 活化剂的化学活化作用对传质的影响是关键性因素, 动力学因素对传质具有本质上的作用.

**关键词:** 膜气体吸收; 复合溶液; 性能比较

**中图分类号:** TQ028.8; X511

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-606X(2007)01-0039-05

## 1 前言

膜基气体吸收(简称膜吸收)是膜接触器与溶液吸收气体技术相耦合的新型气体分离过程, 具有稳定的传质界面、高比表面积、高传质效率、低能耗、装置体积小、操作稳定和弹性大等优势. 吸收气体的溶液在分离过程中提供了高选择性和高驱动力. 经过 20 多年的开发研究, 膜吸收在分离和回收 CO<sub>2</sub> 等酸性气体方面得到了迅速发展<sup>[1,2]</sup>, 目前研究工作主要集中在膜材料开发、高效率膜组件设计、高性能溶液开发、传质模型建立等. 这些研究将为膜吸收工业化应用打下稳固的基础. 高性能溶液的开发是此领域研究的主题之一, 良好的吸收剂应具有对酸性气体活性高、吸收容量大、吸收速度快、不易挥发、粘性小和对膜不湿润等特点.

醇胺化合物(如 MEA, DEA, MDEA)等由于其特定的化学结构, 对酸性气体具有优良的吸收和再生性能, 已被广泛应用. 在醇胺溶液中添加有机胺活化剂组成的复合溶液能显著地提高吸收酸性气体的能力<sup>[3,4]</sup>. 在以前的研究工作<sup>[5,6]</sup>中, 针对膜基复合溶液传质过程建立了传质方程模型, 从理论上证实了复合溶液在膜吸收过程中对传质的作用和影响, 但并没有对复合溶液中的活化剂的性能和活化作用进行比较. 纵观国内外文献资料

<sup>[1,2,7,8]</sup>, 在膜吸收过程中, 多数的研究采用的吸收剂为单一组分的溶液, 复合溶液采用较少, 尤其是针对复合溶液中的活化剂对加强传质作用的研究也较少.

本研究将空间位阻胺(AMP)和多氨基化合物(PZ)作为活化剂, 采用 MDEA-PZ 和 MDEA-AMP 复合溶液作为吸收剂, 研究了在膜接触器中分离 N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 的过程和传质性能, 着重比较了 PZ 和 AMP 在膜吸收过程中的活化作用和对传质加强的影响, 并提出了一个活化机理(穿梭机理)来解释其中的活化现象, 得出相关结论.

## 2 理论分析

### 2.1 活化机理

AMP 是空间位阻胺, PZ 是具有双氨基环状结构的化合物, MDEA 是叔胺, 它们的分子结构见图 1.

复合溶液中活化剂(PZ 和 AMP)在吸收过程中对传质的加强采用穿梭机理<sup>[9]</sup>来解释, 根据此机理, CO<sub>2</sub> 从气相扩散至气液界面, 进入液相侧液膜边界层, 在液膜边界层 CO<sub>2</sub> 遇上大量的 H<sub>2</sub>O 和 MDEA 及少量的活化剂(PZ 和 AMP), 由于 CO<sub>2</sub> 不能直接与 MDEA 反应, 只能与 H<sub>2</sub>O 和活化剂反应, 而与活化剂的反应是快速反应, 因此, 大多数的 CO<sub>2</sub> 与活化剂进行反应, 生成两性离子产物, 并继续向液相主体扩散, 在主体中与 MDEA 发

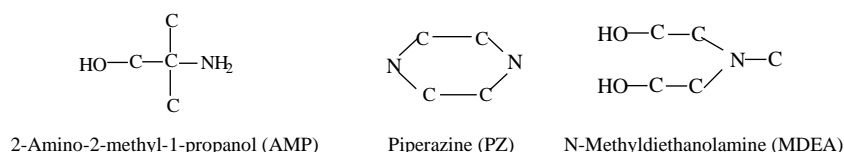


图 1 AMP, PZ 和 MDEA 的分子结构  
Fig.1 Molecule structures of AMP, PZ and MDEA

收稿日期: 2006-03-20, 修回日期: 2006-04-14

基金项目: 江苏省高校自然科学基金资助项目(编号: 06KJD610117); 南京信息工程大学科研基金资助项目(编号: QD55)

作者简介: 陆建刚(1963-), 男, 江苏省海门市人, 博士, 副教授, 研究方向: 分离工程, Tel: 025-58731090, E-mail: jglu@nuist.edu.cn.

生反应, 将  $H^+$  转移给 MDEA, 两性离子转化为氨基甲酸盐, 氨基甲酸盐随即发生水解,  $COO^-$  转化为  $HCO_3^-$ , 同时活化剂得到还原, 还原后的活化剂又迅速回到界面处, 接受扩散过来的  $CO_2$ , 并快速与之反应, 这样活化剂成为  $CO_2$  的载体, 在其中犹如一把梭子在界面和主体之间快速穿梭, 活化剂这一行为被称为活化效应, 此效应从本质上加速了  $CO_2$  传质速度.  $CO_2$  与水的反应是弱反应, 由于产生的  $H^+$  被 MDEA 接受, MDEA 加强了这一反应. 穿梭机理过程见图 2.

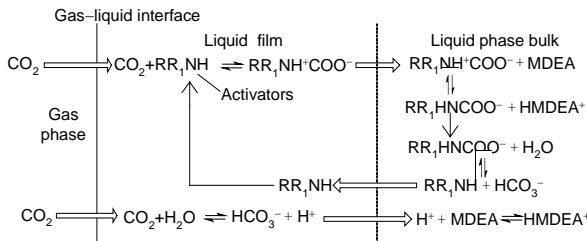


图2 活化剂在 MDEA 溶液中的穿梭机理

Fig.2 Shuttle mechanism for the activation of reactive amine additives in a mixture with MDEA

## 2.2 总传质系数

总传质系数计算:

$$K_{ov} = Q(C_{L,out} - C_{L,in}) / (A_T \Delta C_m), \quad (1)$$

式中  $Q$  为液体流量,  $A_T$  为膜传质面积,  $C_{L,in}$  和  $C_{L,out}$  分别为液相进出口浓度, 浓度对数平均值  $\Delta C_m$  由下式计算:

$$\Delta C_m = \left[ (HC_{g,in} - C_{L,out}) - (HC_{g,out} - C_{L,in}) \right] / \ln \frac{HC_{g,in} - C_{L,out}}{HC_{g,out} - C_{L,in}}. \quad (2)$$

当进口  $CO_2$  负载为 0, 即  $C_{L,in}=0$ , 总传质系数计算式为

$$K_{ov} = \frac{QC_{L,out}}{A_T \Delta C_m} = \frac{QC_{L,out}}{A_T [(HC_{g,in} - C_{L,out}) - HC_{g,out}]} \ln \frac{HC_{g,in} - C_{L,out}}{HC_{g,out}}. \quad (3)$$

式中 Henry 常数  $H$  采用下列关联式<sup>[10]</sup>:

$$(H_{CO_2}/H_{N_2O})_{amie} = (H_{CO_2}/H_{N_2O})_{waters} \quad (4)$$

$CO_2$  和  $N_2O$  在水中的 Henry 常数<sup>[11]</sup>:

$$H_{N_2O} = 8.55 \times 10^6 \exp(-2284/T), \quad (5)$$

$$H_{CO_2} = 2.82 \times 10^6 \exp(-2044/T), \quad (6)$$

式中  $T$  为温度, 溶解度数据来源于文献[12-15].

## 3 实验

### 3.1 实验装置及流程

实验装置及流程见图 3.  $N_2/CO_2$  混合气按实验要求

在配气系统上配制, 并分析其组成, 复合溶液 MDEA-PZ 和 MDEA-AMP 分别按实验要求在溶液储槽中配制. 室温下混合气由钢瓶 1 经减压阀减压至实验操作压力, 气流经气体流量计 2 进入膜组件 3 中, 混合气中  $CO_2$  通过膜孔扩散至膜另一侧, 被醇胺溶液吸收, 进入液相, 吸收后的气相从膜组件另一端气体出口放出. 储罐 8 中的溶液由泵 6 抽出经液相流量计 7 送入膜组件 3 中, 吸收扩散过来的  $CO_2$ . 离开膜组件的溶液进入再生器 4 进行热再生(热量由电加热器提供), 再生出来的  $CO_2$  和水蒸汽经冷却器 5 冷却后进入气液分离器 9 分离,  $CO_2$  放空, 冷凝液回流至再生器顶部. 再生器中再生后的溶液经冷却器 10 冷却后流入溶液储罐 8, 溶液以此得到循环, 系统实现吸收-再生连续循环操作. 实验中溶液走壳侧, 气体走管侧, 气液相逆流运行. 吸收剂组成: MDEA 溶液 2.5 mol/L, 复合溶液 MDEA-AMP 和 MDEA-PZ 2.0 mol/L MDEA+0.5 mol/L AMP 或+0.5 mol/L PZ.

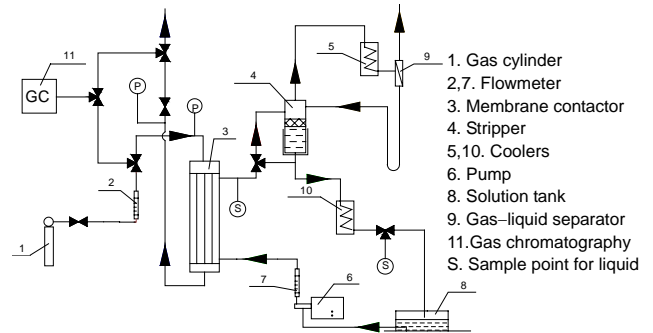


图3 膜接触器吸收  $CO_2$  实验装置示意图

Fig.3 Schematic diagram of experimental setup for  $CO_2$  absorption of membrane contactor

### 3.2 实验原料、膜接触器特性参数和分析方法

$N_2$ ,  $CO_2$ , 商业瓶装气(纯度>99.99%, 南京瑞尔特种气体有限公司); MDEA 纯度>99.5%(江苏常州巨顺化工有限公司); PZ 纯度>99%[中国医药(集团)上海化学试剂公司]; AMP, 分析纯, Fluka Chemical GmbH 生产.

疏水性 PP 中空纤维膜接触器特性参数见表 1, 膜组件进出口气相组成由 GC6890 型气相色谱仪(美国 Agilent 公司产)分析测定, 液相醇胺组成由 CP3380 型气相色谱仪(美国 Varian 公司产)分析测定, 溶液总碱由酸碱滴定测定, 液相  $CO_2$  采用化学分析法测定.

表 1 PP 中空纤维膜接触器特性参数

Table 1 Characteristic parameters of PP hollow fiber membrane modules

Module	Shell diameter, $d_s$ (mm)	No. of fibers, $n$	Fiber length, $L$ (mm)	Fiber O.D., $d_o$ ( $\mu m$ )	Wall thickness, $\delta$ ( $\mu m$ )	Average pore size, $r_m$ ( $\mu m$ )	Porosity, $\epsilon$	Packing factor, $\phi$
I	60	4000	200	400	50	0.02	0.45	0.17
II	32	1200	300	500	100	0.05	0.60	0.29

## 4 结果与讨论

### 4.1 气液相流速对出口 CO<sub>2</sub> 浓度的影响

采用无因次数  $C_{g,out}/C_{g,in}$  (气相出口浓度与进口浓度之比) 来评价流速的影响, 数据见图 4 和 5. 数据表明, 出口浓度随液相速率  $Q$  增大而减小, 随气相速率  $G$  增大而增大, 对于采用膜接触器的任何吸收剂吸收 CO<sub>2</sub> 均有相同的结果<sup>[16-18]</sup>. 在这里主要研究的是复合组分

与单一组分在膜吸收过程中性能上的差异性. 从分析数据可以看出, 在相同的操作条件下, 采用复合溶液的气相出口浓度明显低于单一 MDEA 溶液. 在相同浓度下, 添加活化剂后的复合溶液的 CO<sub>2</sub> 溶解度比单一的 MDEA 溶液提高<sup>[14]</sup>, 因而增大了溶液吸收容量; 同时复合溶液液面上 CO<sub>2</sub> 平衡分压低于 MDEA 溶液, 复合溶液的传质推动力大于单一组分 MDEA 溶液; 由于活化剂的活化作用, 复合溶液提高了吸收速率.

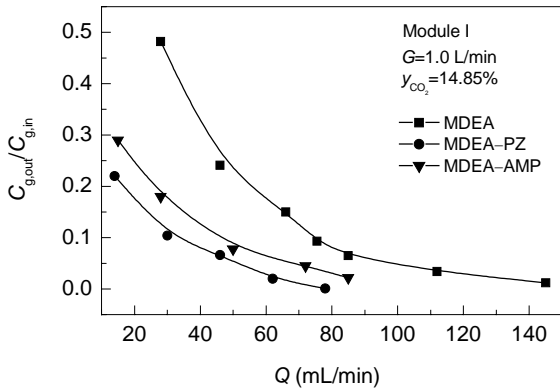


图 4 液速对出口 CO<sub>2</sub> 浓度的影响  
Fig.4 Effect of liquid flow velocity on outlet CO<sub>2</sub> concentration

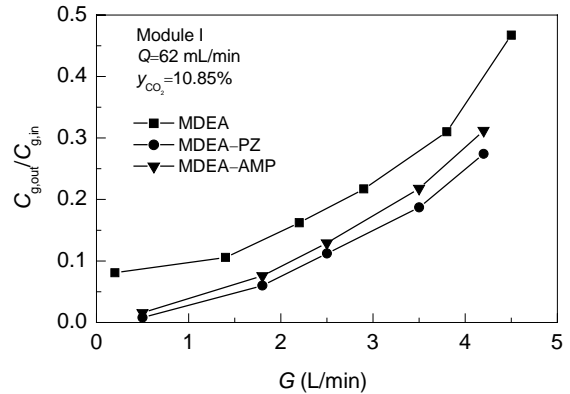


图 5 气速对出口 CO<sub>2</sub> 浓度的影响  
Fig.5 Effect of gas flow velocity on outlet CO<sub>2</sub> concentration

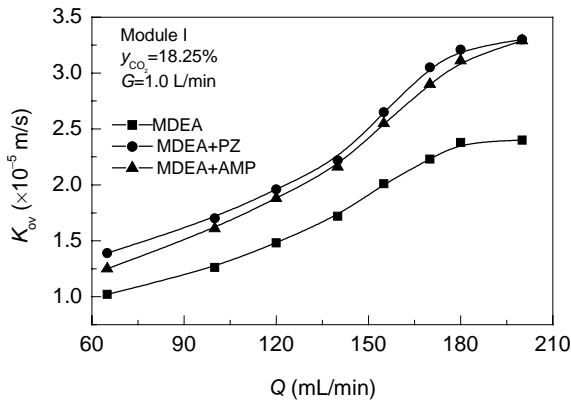


图 6 液速对传质系数  $K_{ov}$  的影响比较  
Fig.6 Comparison for the effect of liquid flow velocity on mass transfer coefficient

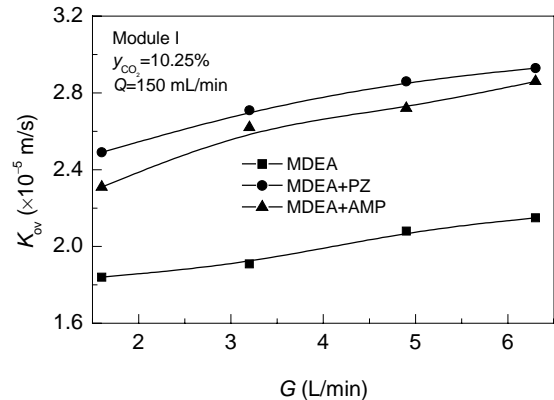


图 7 气速对传质系数  $K_{ov}$  的影响比较  
Fig.7 Comparison for the effect of gas flow velocity on mass transfer coefficient

### 4.2 气液流速对总传质系数影响的比较

图 6 和 7 表达了气液两相流速分别对总传质系数  $K_{ov}$  的影响. 由图 6 可见, 随液速增大,  $K_{ov}$  也增大. 在实验条件下,  $Q > 170$  mL/min 时  $K_{ov}$  值上升趋势, 表明液速的影响是有限的; 同时表明复合溶液 MDEA-AMP 和 MDEA-PZ 及单一 MDEA 溶液存在相同的规律. 在相同条件下, 与单一溶剂 MDEA 溶液相比, 复合溶液的  $K_{ov}$  值明显增大, 平均增大 1.3~2 倍. 在膜吸收过程中, 传质总阻力为气侧边界层即气膜 ( $k_g^{-1}$ )、膜相阻力 ( $k_M^{-1}$ ) 和液侧边界层阻力即液膜 ( $mk_L^{-1}$ ) 之和, 其中液相分

传质系数  $k_L = Ek_L^0$  ( $E$  和  $k_L^0$  分别为化学增强因子和液相物理传质系数). 由于复合溶液中活化剂的活化效应作用增大了化学增强因子  $E$  值, 液相阻力减小, 使传质得到加强,  $K_{ov}$  值增大. 图 6 表明, MDEA-PZ 的  $K_{ov}$  值大于 MDEA-AMP 的  $K_{ov}$  值, 说明多胺基活化剂 PZ 的活化效应大于位阻胺活化剂 AMP. 分析图 7, 气速影响曲线较平缓, 气速的增大对  $K_{ov}$  值影响不明显, 这主要是在三项阻力中, 传质过程受液膜阻力控制, 液膜阻力是主导项, 气膜阻力在三项阻力中所占的比率较小, 对总阻力的影响较小. 实验数据表明, 流体力学因素对传质的

影响是有限的,化学活化作用对传质的影响是关键性因素.

#### 4.3 吸收剂浓度和混合气中 $\text{CO}_2$ 浓度对总传质系数的影响

图8和9反映了吸收剂浓度和气相  $\text{CO}_2$  浓度对总传质系数的影响.图8表明吸收剂浓度增大,  $K_{ov}$  值增大,其原因是醇胺化合物与  $\text{CO}_2$  的反应为假一级反应<sup>[13]</sup>,  $R=kC_1C_{\text{amine}}$ , 反应速率与吸收剂浓度成正比,吸收剂浓度提高,界面液膜层吸收剂浓度提高,加快了反应速率,加大了  $\text{CO}_2$  传递推动力,故使  $K_{ov}$  值增大;图8同时表明,在相同条件下,复合溶液  $K_{ov}$  值增加幅度大于 MDEA 溶液,且 MDEA-PZ>MDEA-AMP,这是因为 MDEA-PZ 反应速率常数  $k$  大于 MDEA-AMP<sup>[10]</sup>;在实验条件下,当吸收剂浓度提高到 2.5 mol/L 以上时,  $K_{ov}$  值的增幅趋缓,浓度的提高对溶液的物化性能(如粘度、扩散系数等)有一定的影响,从而影响到传质性能.由图9可见,气相中  $\text{CO}_2$  浓度( $y_{\text{CO}_2}$ )的提高使  $K_{ov}$  值下降较快,文献<sup>[16]</sup>认为可能是气相远离理想状态引起的,这是可能原因之一;另外,  $\text{CO}_2$  浓度的提高使气液界面处浓度梯度加大,扩散受阻,影响了传质;气相中  $\text{CO}_2$  浓度的提高同样使

气相物理性质(如粘度、扩散系数等)发生了变化,这对传质同样产生一定的影响.实验数据表明,动力学因素对传质具有本质上的作用.

#### 4.4 溶液负载 $\alpha$ 对吸收性能的影响比较

负载  $\alpha$  为 1 mol 醇胺溶剂吸收  $\text{CO}_2$  的摩尔数.调节电加热器可控制再生蒸汽量,得到不同负载的溶液.图10是在组件 I 中运行时,  $\alpha$  同  $K_{ov}$  的关系.随着  $\alpha$  值的增大,  $K_{ov}$  值降低.负载上升,使界面液膜层表面  $\text{CO}_2$  平衡分压增大,传质推动力降低;同时使有效的吸收剂浓度降低,吸收速率降低,另外,较高负载下溶液中反应产生的离子浓度上升,阻碍了  $\text{CO}_2$  和活化剂等扩散速率,从而导致  $K_{ov}$  值降低.曲线也表明,复合溶液的  $K_{ov}$  下降趋势缓于 MDEA 溶液,且活化剂 PZ 和 AMP 的活化作用不同,在溶液负载的影响下, PZ 的活化作用大于 AMP.

#### 4.5 膜组件结构和膜结构形态对传质系数的影响

在相同操作条件下, MDEA 溶液和 MDEA-PZ 复合溶液分别在膜组件 I 和 II 中运行,评价组件结构和膜结构形态对  $K_{ov}$  的影响,数据见图11.分析发现高径比值较大、膜孔径较大和孔隙率高的组件 II 可获得较大

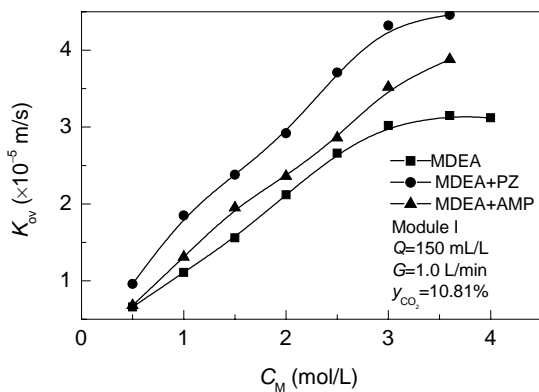


图8 吸收剂浓度对传质系数  $K_{ov}$  的影响

Fig.8 Effect of absorbent concentration on mass transfer coefficient

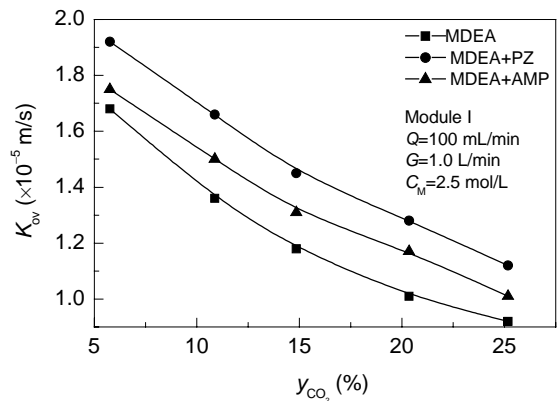


图9  $\text{CO}_2$  浓度对传质系数  $K_{ov}$  的影响

Fig.9 Effect of  $\text{CO}_2$  concentration on mass transfer coefficient

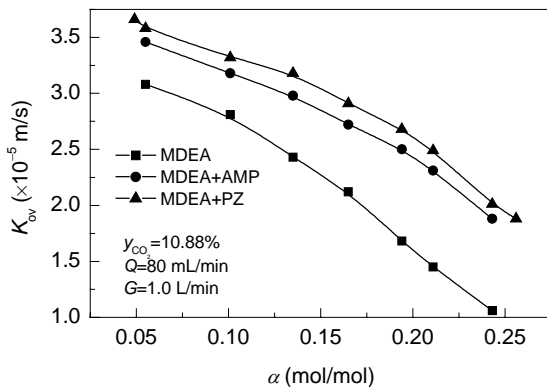


图10 溶液负载对吸收性能的影响

Fig.10 Effect of solution load on absorption performance

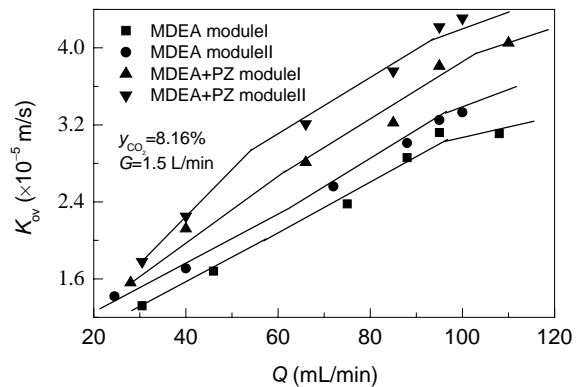


图11 流体流程对传质系数的影响

Fig.11 Effect of course for fluid on mass transfer coefficient

$K_{ov}$ 。流体在组件 II 内停留时间较长，延长了传质时间；较大的膜孔和较高的孔隙率可提高扩散速率，减小了膜相阻力。

## 5 结论

在膜吸收过程中，添加活化剂的复合溶液 MDEA-AMP 和 MDEA-PZ 传质性能优于单组分的 MDEA 溶液；复合溶液的总传质系数  $K_{ov}$  值明显大于 MDEA 溶液，平均增大 1.3~2 倍，且 MDEA-PZ > MDEA-AMP；具有多氨基结构的活化剂 PZ 活化效应比空间位阻胺活化剂 AMP 大；流体力学因素对传质的影响有限，化学活化作用对传质的影响是关键性因素；动力学因素对传质具有本质上的作用；溶液负载的增大使  $K_{ov}$  值降低，复合溶液的  $K_{ov}$  下降趋势缓于 MDEA 溶液；膜孔径较大和孔隙率较高的组件可获得较大  $K_{ov}$ 。

### 参考文献：

- [1] Kim Y S, Yang S M. Absorption of Carbon Dioxide through Hollow Fiber Membranes Using Various Aqueous Absorbents [J]. *Sep. Purif. Technol.*, 2000, 21: 101-109.
- [2] Hoff K A, Juliussen O, Falk-pedersen O, et al. Modeling and Experimental Study of Carbon Dioxide Absorption in Aqueous Alkanolamine Solutions Using a Membrane Contactor [J]. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2004, 43: 4908-4921.
- [3] Pacheco M A, Kaganoi S, Rochelle G T. CO<sub>2</sub> Absorption into Aqueous Mixtures of Diglycolamine and Methyl-diethanolamine [J]. *Chem. Eng. Sci.*, 2000, 55: 5125-5140.
- [4] Mandal B P, Guha M, Biswas A K, et al. Removal of Carbon Dioxide by Adsorption in Mixed Amines: Modeling of Absorption in Aqueous MDEA/MEA and AMP/MEA Solutions [J]. *Chem. Eng. Sci.*, 2001, 56: 6217-6224.
- [5] 陆建刚, 王连军, 刘晓东, 等. 膜基复合溶液吸收 CO<sub>2</sub> 过程模拟 [J]. *化工学报*, 2005, 56(8): 1439-1444.
- [6] 陆建刚, 马骏, 王连军. 混合气中 CO<sub>2</sub> 的膜接触器分离过程 [J]. *南京理工大学学报*, 2005, 29(4): 491-494.
- [7] Dindore V Y, Brilman D W F, Feron P H M. CO<sub>2</sub> Absorption at Elevated Pressures Using a Hollow Fiber Membrane Contactor [J]. *J. Membr. Sci.*, 2004, 235: 99-109.
- [8] Dindore V Y, Brilman D W F, Geuzbroek F H, et al. Membrane Solvent Selection for CO<sub>2</sub> Removal Using Membrane Gas-Liquid Contactors [J]. *Sep. Purif. Technol.*, 2004, 40: 133-145.
- [9] Weiland R H, Sivasubramanian M S, Dingman J C. Effective Amine Technology: Controlling Selectivity, Increasing Slip, and Reducing Sulfur [A]. *The 53rd Annual Laurance Reid Gas Conditioning Conference* [C]. Norman, OK: University of Oklahoma, 2003, 116-125.
- [10] Xu G W, Zhang C F, Rin S J, et al. Kinetics Study on Absorption of Carbon Dioxide into Solutions of Activated Methyl-diethanolamine [J]. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1992, 31(3): 921-927.
- [11] Versteeg G F, Van Swaaij P M. Solubility and Diffusivity of Acid Gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) in Aqueous alkanolamine Solutions [J]. *J. Chem. Eng. Data*, 1988, 33: 29-34.
- [12] Kierzkowska-Pawlak H, Zarzycki R. Solubility of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O in Water+Methyl-diethanolamine and Ethanol+Methyl-diethanolamine Solutions [J]. *J. Chem. Eng. Data*, 2002, 47: 1506-1509.
- [13] Bishnoi S, Rochelle G T. Absorption of Carbon Dioxide in Aqueous Piperazine/Methyl-diethanolamine [J]. *AIChE J.*, 2002, 48: 2788-2799.
- [14] Alvaro P K, Xia J Z. Solubility of CO<sub>2</sub> in (H<sub>2</sub>O+Piperazine) and in (H<sub>2</sub>O+MDEA+Piperazine) [J]. *AIChE J.*, 2003, 49: 2662-2670.
- [15] Saha A K, Bandyopadhyay S S. Solubility and Diffusivity of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> in Aqueous Solution of AMP [J]. *J. Chem. Eng. Data*, 1993, 38: 78.
- [16] 朱宝库, 陈炜, 王建黎, 等. 膜接触器分离混合气中 CO<sub>2</sub> 的研究 [J]. *环境科学*, 2003, 24(5): 34-38.
- [17] 王志, 龚彦文, 袁力, 等. 中空纤维膜吸收器中 CO<sub>2</sub> 吸收过程模拟 [J]. *化工学报*, 2003, 54: 1563-1568.
- [18] Li K, Teo W K. Use of Permeation and Absorption Methods for CO<sub>2</sub> Removal in Hollow Fiber Membrane Modules [J]. *Sep. Purif. Technol.*, 1998, 13: 79-88.

## Comparison of Activating Performance of Activators in Membrane Gas Absorption

LU Jian-gang, ZHENG You-fei, CHEN Min-dong, HE Du-liang, ZHAO Xiao-li, ZHANG Hui

(Dept. Environ. Sci. & Eng., Nanjing Univ. Information Sci. & Technol., Nanjing, Jiangsu 210044, China)

**Abstract:** Piperazine (PZ) and 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) as activators were added into methyl-diethanolamine (MDEA) to form complex aqueous solutions, respectively. Mass transfer performance of CO<sub>2</sub> absorption into the complex aqueous solutions in membrane contactors was studied. The effects of various factors, such as flowrates of gas and liquid, CO<sub>2</sub> concentration of feed gas, absorbent concentrations of the solutions, CO<sub>2</sub> loading in the solutions, configuration of membrane, and structures of modules on overall mass transfer coefficients of membrane contactors were investigated. Emphatically, the enhancement of mass transfer in membrane contactors was evaluated by means of comparison of chemical activation of sterically hindered amine AMP and multi-amino PZ in the complex solutions. The results show that multi-amino PZ has higher activation than sterically hindered amine AMP in complex solutions. The enhancement of PZ to mass transfer is higher than that of AMP in membrane contactors. The effect of hydrodynamics on mass transfer is limited. Chemical activation of activators is the key influential factor on mass transfer. Reaction kinetics plays a significant role in mass transfer.

**Key words:** membrane gas absorption; complex solutions; performance comparison