

李建强,张新军,陆诗建,等. 2011. 碳酸钾-二乙烯三胺复合溶液吸收烟气中 CO₂ 实验研究[J]. 环境科学学报, 31(7): 1501-1508

Li J Q Zhang X J Lu S J, et al. 2011. Recovering carbon dioxide from flue gas by diethylene triamine (DETA) and K₂CO₃ solution[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 31(7): 1501-1508

碳酸钾-二乙烯三胺复合溶液吸收烟气中 CO₂ 实验研究

李建强¹, 张新军^{2,3}, 陆诗建^{3,*}, 李清方³, 刘海丽³, 张艳⁴

1. 东营职业学院, 东营 257091

2. 青岛科技大学, 青岛 266061

3. 胜利油田勘察设计院, 东营 257026

4. 中国石油大学(华东) 化学化工学院, 东营 257061

收稿日期: 2010-12-31

修回日期: 2011-02-15

录用日期: 2011-02-17

摘要: 热钾碱溶液在工业脱除二氧化碳中已获得较广泛的应用, 但存在吸收速率差、再生负荷高等缺点. 开发新型热钾碱溶液成为目前研究热点. 采用搅拌实验装置, 研究碳酸钾溶液及不同配比的碳酸钾-二乙烯三胺(DETA) 复合溶液对烟道气中二氧化碳的吸收和解吸性能, 揭示了吸收速率、吸收容量和酸碱度与时间之间的内在联系; 对 CO₂ 初始逸出温度, 试液再生温度, 试液再生率, 再生 pH 下降率进行了细致记录分析. 实验结果表明, 碳酸钾-DETA 二元复合体系吸收效果优于单组份碳酸钾的吸收效果. 碳酸钾-DETA 复合溶液配比为 0.6:0.4 时吸收效果最佳, 吸收量约为 0.80 mol·L⁻¹; 再生温度最低, 为 107 °C; 再生率最高, 为 95.5%. 同时与相同配比的碳酸钾-乙醇胺(MEA)、碳酸钾-二乙醇胺(DEA) 相比具有较大再生优势. 实验结果还表明碳酸钾-DETA 复合体系在二氧化碳吸收过程中存在正交互作用.

关键词: 二氧化碳; 复合胺溶液; 碳酸钾(K₂CO₃); 二乙烯三胺(DETA)

文章编号: 0253-2468(2011)07-1501-08

中图分类号: X511

文献标识码: A

Recovering carbon dioxide from flue gas by diethylene triamine (DETA) and K₂CO₃ solution

LI Jianqiang¹, ZHANG Xinjun^{2,3}, LU Shijian^{3,*}, LI Qingfang³, LIU Haili³, ZHANG Yan⁴

1. Dongying Vocational College, Dongying 257091

2. Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061

3. Shengli Engineering & Consulting Co. Ltd., Dongying 257026

4. College of Chemistry & Chemical Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061

Received 31 December 2010;

received in revised form 15 February 2011;

accepted 17 February 2011

Abstract: Hot alkaline solutions of potassium salts have been widely used for removing carbon dioxide in industry, but they have disadvantages of poor absorption rate and high regeneration load. So developing new types of thermal alkaline potassium solutions is important. A series of experiments was performed to study the absorption and desorption of carbon dioxide from flue gas with potassium carbonate solution and different proportions of potassium carbonate-DETA (diethylene triamine) complex solution. The relationships between absorption rate, absorption capacity, pH and time were determined by analyzing the initial escape temperature of CO₂, the regeneration temperature, regeneration rate, and pH decline during regeneration. The experimental results show that the best absorption effect (in which the absorption capacity was 0.80 mol·L⁻¹) was obtained using a binary complex system 0.6:0.4 K₂CO₃:DETA. The highest regeneration rate was about 95.5% at the lowest regeneration temperature, 107 °C. Compared with potassium carbonate-MEA (ethanolamine) and potassium carbonate-DEA (diethanolamine), the potassium carbonate-DETA system (with the same molar ratio) can be more effectively regenerated. A positive interaction occurs between potassium carbonate and DETA solution during the process of absorption of carbon dioxide.

Keywords: carbon dioxide; mixed amine CO₂ absorption solutions; K₂CO₃; DETA

基金项目: 国家科技支撑计划项目(No. 2008BAE65B00)

Supported by the National Key Technology R&D Program(No. 2008BAE65B00)

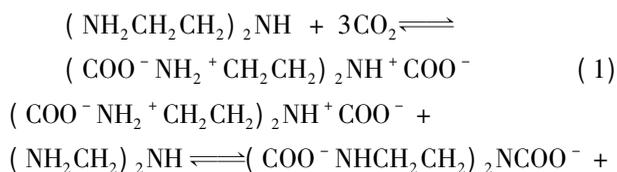
作者简介: 李建强(1965—) 男, 副教授, E-mail: zxyyljq@163.com; * 通讯作者(责任作者), E-mail: lushijian88@163.com

Biography: LI Jianqiang(1965—) male associate professor, E-mail: zxyyljq@163.com; * Corresponding author, E-mail: lushijian88@163.com

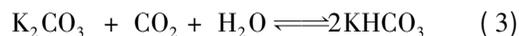
1 引言 (Introduction)

经济发展使得人类对化石燃料的需求量不断增加,导致 CO₂的排放量逐年提高,造成越来越严重的地球温升问题。2005 年 2 月 16 日,《京都议定书》正式生效(夏明珠等,1999),CO₂作为主要的温室气体,减排问题已引起全球范围的广泛关注;另一方面 CO₂又广泛应用于食品业、工业、农业、国防、医疗、商业、运输等各个领域(Parkinson *et al.*, 2000),具有潜在的资源性,如何从烟道气中更高效、经济的回收 CO₂具有长远意义。目前化学吸收法已经成为烟气 CO₂回收的主要方法(晏水平等,2006),常用的吸收剂有钾碱或钠碱、氨水、醇胺(项菲,2003;肖九高,2004;陈庚良,2003)等,具有较高的 CO₂吸收速率,CO₂纯度可达 99.99%,适合 CO₂浓度较低的混合气体的处理。传统的热钾(钠)碱法不断发展,涌现了很多改良工艺,这些工艺在热碳酸钾溶液中添加不同的活化剂,以加快 CO₂的吸收和再生速度,降低能耗(杨向平等,2010;陈健等,2001)。

目前报道的有关碳酸钾与醇胺的二元复合体系对烟气 CO₂的吸收及再生较少。DETA 分子里面含有两个伯胺基、一个仲胺基,伯胺、仲胺易与 CO₂生成稳定的氨基甲酸盐(费维扬等,2005;李桂明等,2007)。CO₂与二乙烯三胺(DETA)的反应(见式(1)和式(2))现在公认的是两性离子机制:



碳酸钾吸收 CO₂的反应原理见式(3)



笔者通过在单组份碳酸钾体系加入少量 DETA 活化剂,研究了碳酸钾-DETA 二元复合体系对烟气 CO₂的吸收和再生情况。

2 实验部分 (Experiments)

2.1 仪器及试剂

智能电子皂膜流量计;单孔电热恒温水浴锅;氮气钢瓶;二氧化碳钢瓶;雷磁 PHS-3C 精密 pH 计/MV 仪。

DETA 为分析纯(AR);碳酸钾为分析纯(AR);医用蒸馏水。

2.2 实验装置与实验方法

实验装置见图 1。采用模拟烟道气(其中 CO₂体积分数为 15%,N₂体积分数为 85%)进行实验。打开 CO₂及 N₂减压阀,设定吸收反应温度为 40 °C,用转子流量计和皂膜流量计对混合气进行标定,CO₂和 N₂总流量稳定在 4 mL·s⁻¹。将球形多孔反应探头放入汽液接触反应器(溶液容积为 350 mL)中,同时开始计时,设定搅拌转速。每隔 5 min 记录一次数据(进出口气体流量和 pH、MV)。当进气流量示数与出气流量之差示数低于 5 mL·min⁻¹时,认为反应达饱和,停止实验。CO₂吸收速率采用式(4)计算,为每秒溶液吸收的 CO₂的物质的量;用 Matlab 语言编程,计算测定的 CO₂吸收速率对时间的积分,即得 CO₂摩尔吸收容量。

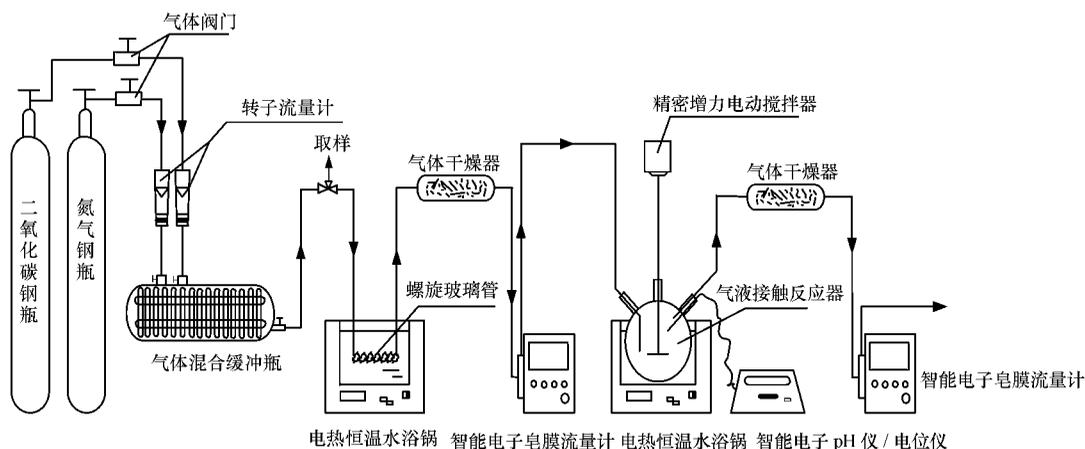


图 1 吸收实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of the absorption system

$$n = p\Delta V/RT \quad (4)$$

式中: p 为吸收系统内部压力, 为常压 (Pa); ΔV 为皂膜流量计进口和出口示数之差, 为被吸收的 CO₂ 体积 (mL); n 为吸收速率 ($\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$); T 为反应温度 (K); R 为摩尔气体常数 $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

吸收实验结束后, 取下汽液接触反应器, 将其放入电热恒温油浴锅 (见图 2) 中, 设定反应温度, 进行 CO₂ 再生. 利用皂膜流量计测定再生气产生速率, 用饱和氢氧化钙溶液吸收再生气. 当皂膜流量计测得的气体流量小于 $5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, 再生实验结束. 再生实验中, 富 CO₂ 吸收液通过加热再生解吸出 CO₂, 重新成为贫液. 加热再生得到的贫液的 CO₂ 饱和吸收量与新制二元复合溶液的 CO₂ 饱和吸收量之比即为二元复合体系的 CO₂ 吸收再生效率.

在再生过程中, 当油浴升到一定温度后二氧化碳开始从富液中逸出, 此时石灰水开始变浑浊, 得到石灰水变浑浊温度; 继续对富液加热, 富液温度也随之升高, 当油浴加热到一定程度后, 富液开始沸腾, 此时富液温度不再上升, 达到恒定, 得到再生恒沸温度. 此温度即为富液再生温度.

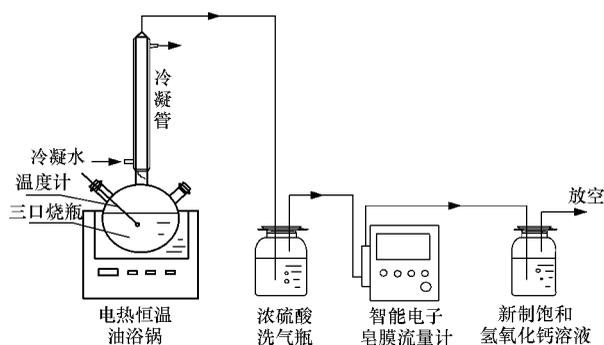


图 2 再生实验装置图

Fig. 2 Schematic diagram of the CO₂ desorption system

3 结果与讨论 (Results and discussion)

3.1 碳酸钾基础实验

在实验条件相同的情况下, 对不同浓度的 K₂CO₃ 溶液进行试验, 从 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 到 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 考察在不同浓度的 K₂CO₃ 溶液下, 烟气中 CO₂ 的吸收速率、吸收量与时间的关系.

3.1.1 不同浓度的碳酸钾溶液下烟气中二氧化碳的吸收速率、吸收量与吸收时间的关系 从图 3a 中可以得到, 在试验条件都相同的情况下, 随着碳酸钾浓度的升高, 初始吸收速率不断升高, 达到吸收饱和和所需时间加长. 进行总结分析: 反应开始时, 溶

液中 OH⁻ 的浓度较高, 吸收 CO₂ 以 OH⁻ 为主, OH⁻ 迅速与 CO₂ 反应生成 HCO₃⁻, 速率维持在较高的水平; 随着反应进行, 溶液中 OH⁻ 的浓度不断降低, 对吸收速率的影响较大, 此时吸收速率明显降低; 到了吸收后期阶段, H₂O 与 CO₂ 的反应是吸收主要部分, OH⁻ 的存在抑制 H₂O 的电离吸收 CO₂, 随着溶液碱度降低, 吸收速率迅速下降, 当吸收速率降到 $2 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下时, 吸收基本达到饱和.

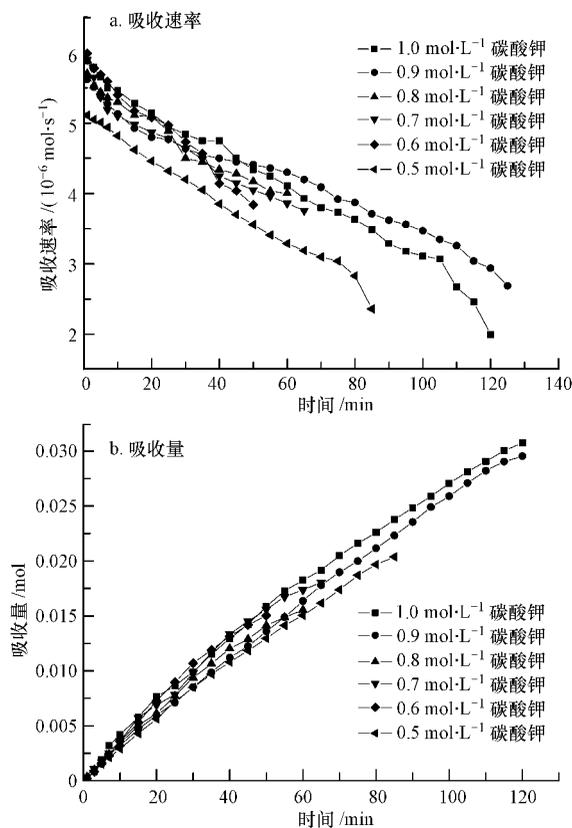


图 3 不同浓度的碳酸钾溶液吸收速率、吸收量与吸收时间关系曲线

Fig. 3 Relationship among absorption rate, absorption capacity and absorption time for different concentrations of potassium carbonate

从图 3b 可以看出随着反应的进行, 不同碳酸钾浓度下, 吸收总量随时间的变化趋势大致相同, 呈递增趋势. 并且浓度越大, 总量增加越快. 但总体吸收效果均不佳, 即使吸收效果最好的 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的一组吸收总量也仅为 0.030 mol .

3.2 碳酸钾与二乙烯三胺 (DETA) 复合溶液

在实验条件相同的情况下, 对不同摩尔配比的 K₂CO₃:DETA 溶液进行试验, 从 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$: $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 到 $0.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$: $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 考察不同摩尔配比复合溶液下, 烟气中 CO₂ 的吸收速率、吸收容量

与时间的关系.

3.2.1 不同摩尔配比的 K_2CO_3 :DETA 溶液吸收速率、吸收量与时间的关系 由图 4a 可以看出,对总浓度为 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 K_2CO_3 -DETA 复配溶液,初始吸收速率的关系为配比 $0.6:0.4 > 0.5:0.5 > 0.7:0.3 > 0.9:0.1 = 0.8:0.2$. 起始混合气中 CO_2 被全吸收,吸收速率维持较高水平,此阶段 DETA 起主导作用;随着反应进行, OH^- 与二氧化碳快速反应,浓度快速下降,吸收速率也较快下降,此阶段 DETA 的进一步水解及 K_2CO_3 的水解对氢氧根浓度下降起着良好的抑制作用;反应时间达 275 min 后,吸收速率趋于平稳,十分缓慢下降,逐渐达到饱和,此阶段 K_2CO_3 起主导作用.

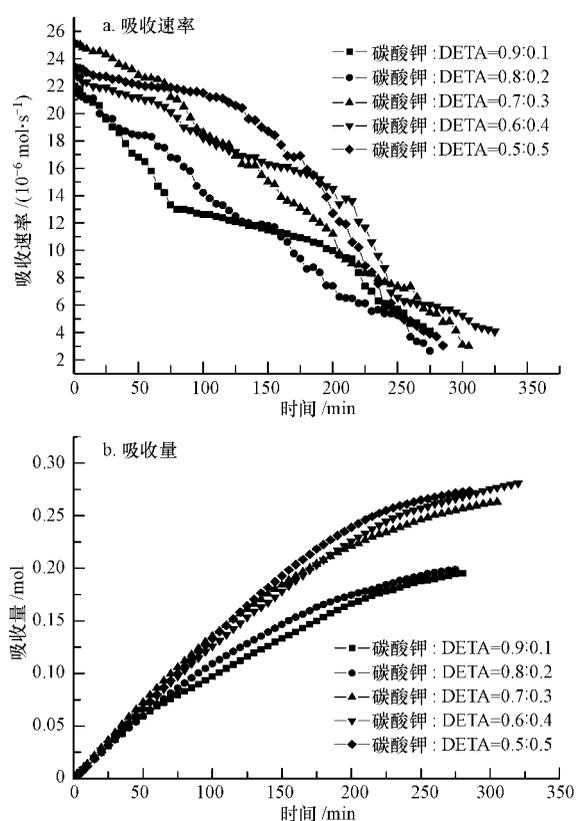


图 4 不同摩尔配比的 K_2CO_3 :DETA 溶液吸收速率、吸收量与吸收时间关系曲线

Fig. 4 Relationship among absorption rate, absorption capacity and absorption time for different proportions of potassium carbonate-DETA complex solution

5 种复合溶液,吸收量-时间变化曲线如图 4b 所示.在前 50 min 各配比溶液吸收量基本相同.50 min 后,二元复合体系中,随着 DETA 浓度的增加,

二元复合体系的 CO_2 吸收速率不断加快.275 min 后体系基本达到饱和状态,其中配比为 $0.6:0.4$ 的一组吸收量最大,为 0.281 mol ($0.80 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$).

3.2.2 不同摩尔配比的 K_2CO_3 :DETA 溶液吸收速率、吸收量与 pH 值的关系 吸收速率随酸碱度的变化如图 5a 所示.当吸收液 pH 相同时,不同配比的吸收液的吸收速率是不同的.其中 $0.5:0.5$ 的混合液反应速率最大, $0.9:0.1$ 最小.当吸收速率相同时,DETA 浓度大的其 pH 值大.由此可得,DETA 的加入增加的溶液的 pH 值及吸收速率.

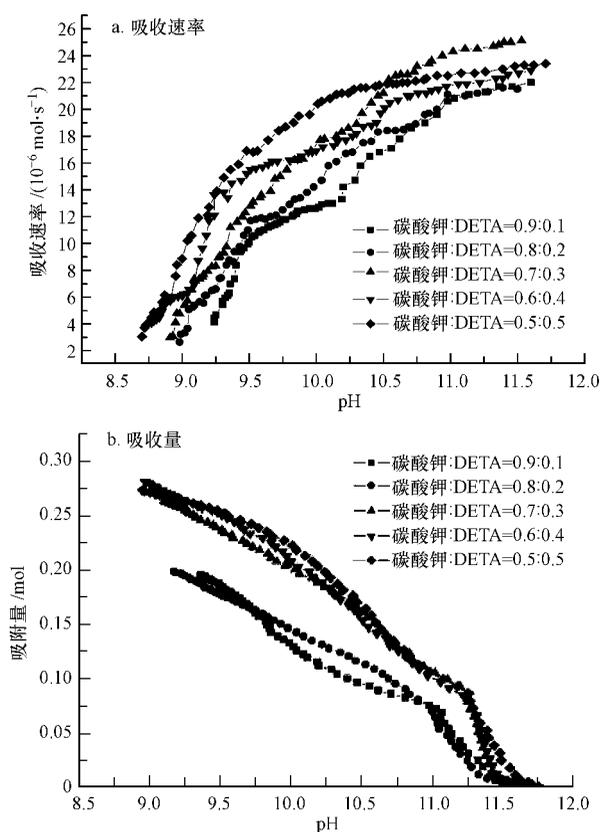


图 5 不同摩尔配比的 K_2CO_3 :DETA 溶液吸收量与 pH 值关系曲线

Fig. 5 Relationship among absorption rate, absorption capacity and pH for different proportions of potassium carbonate-DETA complex solution

不同配比的二元复合体系在烟气 CO_2 的吸收过程中的吸收量-pH 值曲线见图 5b.由图可见,当 pH 值为 9.25 吸收基本达到饱和.

从上述实验可知, $0.60 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} K_2CO_3$ - $0.40 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ DETA 复合溶液得吸收效果最佳,吸收量为 $0.80 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

3.3 碳酸钾与一乙醇胺 (MEA)、二乙醇胺 (DEA) 复合溶液

3.3.1 碳酸钾与一乙醇胺 (MEA) 复合溶液吸收速率、吸收量与时间的关系 由图 6a 可以看出,对总浓度为 1 mol·L⁻¹ 的碳酸钾-MEA 复合溶液,吸收速率随时间变化曲线形状各不相同,但总体下降趋势类似。

由图 6b 可以得出当碳酸钾-MEA 复合溶液的配比为 0.6:0.4 时,吸收量最佳,为 0.185 mol (0.528 mol·L⁻¹)。

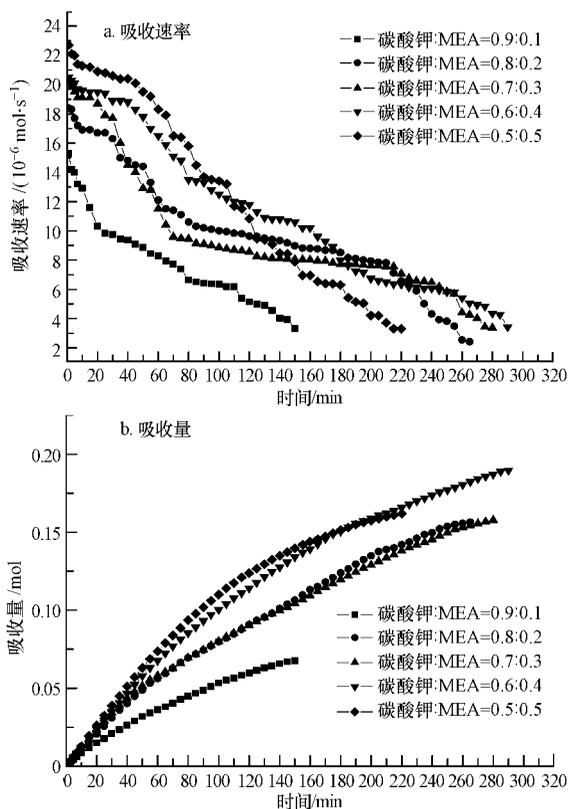


图 6 不同摩尔配比的 K₂CO₃:MEA 溶液吸收量与吸收时间关系曲线

Fig. 6 Relationship among absorption rate, absorption capacity and absorption time for different proportions of potassium carbonate-MEA complex solution

3.3.2 碳酸钾与二乙醇胺 (DEA) 复合溶液吸收速率、吸收量与时间的关系 由图 7a 可以看出,对总浓度为 1 mol·L⁻¹ 的碳酸钾-DEA 复合溶液,吸收速率随时间变化曲线形状各不相同,但总体下降趋势类似. 碳酸钾-DEA 复合溶液的配比为 0.6:0.4 时反应得到平衡所需的时间最长。

由图 7b 可知当碳酸钾-DEA 复合溶液的配比为 0.6:0.4 时吸收量最佳,为 0.217 mol (0.62 mol·L⁻¹)。

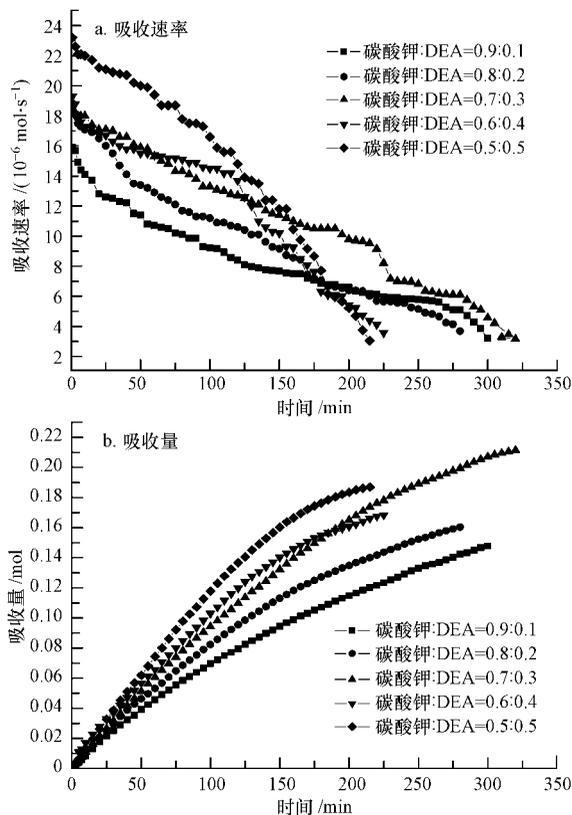


图 7 不同摩尔配比的 K₂CO₃:DEA 溶液吸收量与吸收时间关系曲线

Fig. 7 Relationship among absorption rate, absorption capacity and absorption time for different proportions of potassium carbonate-DEA complex solution

3.4 不同最佳复合溶液的比较

由图 8 可以看出,对于配比为 0.6:0.4 的碳酸钾与 MEA、DEA、DETA 3 种复合溶液,吸收量随时间的变化趋势基本相同. 其中不同复合溶液吸收量之间的关系为: K₂CO₃-DETA > K₂CO₃-MEA > K₂CO₃-DEA > K₂CO₃。

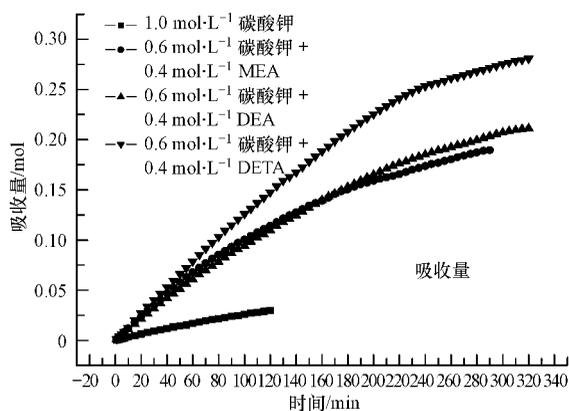


图 8 吸收量与吸收时间关系曲线

Fig. 8 Relationship between absorption capacity and absorption time

进行分析,原因可解释为:DETA分子结构里面含有伯胺基和仲胺基,水解后溶液碱性强,易与和 CO_2 反应生成氨基甲酸盐;MEA中仅含有一个伯胺基,碱性要比DETA弱;而DEA中仅含有一个仲胺基,碱性又要比MEA若,但是总的来说三者的碱性又要比 K_2CO_3 的强.

3.5 最佳配比讨论

由图9a可知,反应前110 min,二元复合体系的吸收速率要小于单组份DETA体系的反应速率,此阶段 CO_2 的吸收主要以DETA吸收为主;而反应110 min后,二元复合体系中 CO_2 吸收速率要大于单组份的吸收速率.但二元复合体系中 CO_2 吸收速率并不是单组份DETA体系和单组份碳酸钾的 CO_2 吸收速率之和.这说明二元体系中的两种组分之间存在交互作用.

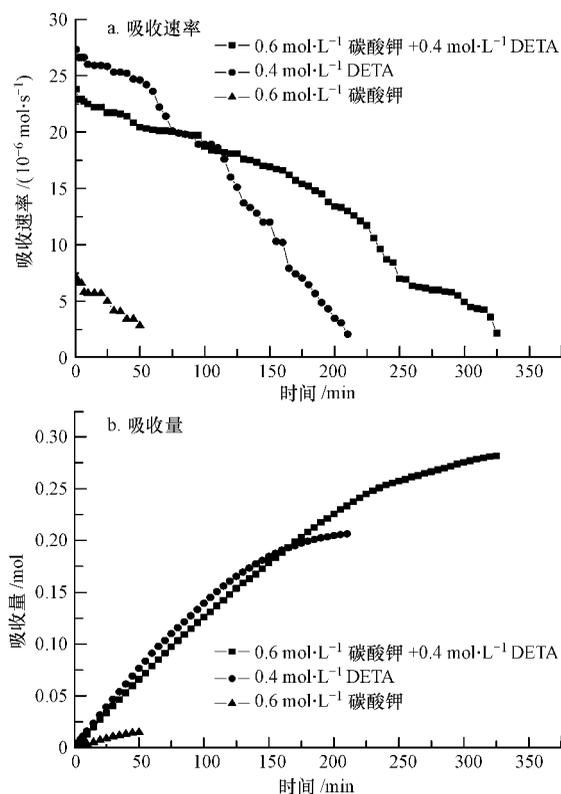


图9 单组份碳酸钾体系、DETA体系、二元复合体系对烟气 CO_2 的吸收量与时间的关系曲线

Fig. 9 Relationship among absorption rate, absorption capacity and absorption time for potassium carbonate, DETA and complex solution

单组份DETA体系、单组份碳酸钾体系、二元复合体系对烟气 CO_2 的吸收量随吸收时间的变化见图12.由图9b可见 $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的单组份DETA体系

的 CO_2 的饱和吸收量为 $0.20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 单组份碳酸钾体系的 CO_2 的饱和吸收量为 $0.015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ DETA- $0.6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 碳酸钾的二元复合体系的 CO_2 的饱和吸收量为 $0.30 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ($0.80 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$).可见,单组份DETA体系和单组份碳酸钾体系的 CO_2 的饱和吸收量要小于二元复合体系,这也证实了碳酸钾、MDEA这两种组分之间存在正交互作用.

3.6 二元复合体系的再生

对于工业中应用的吸收体系而言,再生温度反映了吸收溶液再生需要的热负荷,再生率反映了吸收溶液可循环利用的性能,而再生前后pH值则对再生率的测定正确与否进行检验.因此,再生温度、再生率、再生前后pH值是反映二元复合体系的再生效率的3个重要性能指标.

由表1可见,对碳酸钾-DETA体系,随着二元体系中DETA浓度的升高,石灰水变浑浊的温度先下降后升高.二元复合体系的浑浊温度都要低于 70°C ,而再生温度基本都为 108°C ,高于碳酸钾体系再生温度(118°C).这说明二元体系再生需要的再生负荷低于单组份碳酸钾的再生温度.

表1 不同配比 K_2CO_3 -DETA复合溶液再生温度表

Table 1 Effect of different proportions of potassium carbonate-DETA complex solution on precipitation and boiling temperatures of the mixed solution

复合溶液	石灰水变浑浊温度/ $^\circ\text{C}$	恒沸温度/ $^\circ\text{C}$
$0.50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3 + 0.50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{DETA}$	54.0	107.5
$0.60 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3 + 0.40 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{DETA}$	39.0	107.0
$0.70 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3 + 0.30 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{DETA}$	47.0	108.0
$0.80 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3 + 0.20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{DETA}$	56.1	109.5
$0.90 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3 + 0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{DETA}$	70.0	111.0
$1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3$	88.0	118.0

由表2可以看出,同配比的碳酸钾-DETA,碳酸钾-MEA,碳酸钾-DEA二元复合溶液的再生温度,低于单组份的碳酸钾溶液再生温度(118°C).其中碳酸钾-DETA的再生温度最低(107°C),再生温度比纯 K_2CO_3 再生温度降低 11°C .

由表3可以看出,不同配比的碳酸钾-DETA二元复合溶液中, $0.6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{K}_2\text{CO}_3 + 0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{DETA}$ 复合溶液的再生率最高(95.5%).

表 2 不同复合溶液再生温度表

Table 2 Effect of different amine on precipitation and boiling temperatures of the mixed solution

复合溶液	石灰水变浑浊温度 / °C	恒沸温度 / °C
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ DETA	39.0	107.0
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ MEA	47.0	110.0
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ DEA	46.1	108.5

表 3 不同配比 K₂CO₃-DETA 复合溶液一次再生率表

Table 3 Effect of amine on capacity recovery of single regeneration of the different proportions of potassium carbonate-DETA complex solution

复合溶液	一次再生率	再生液颜色
0.50 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.50 mol·L ⁻¹ DETA	94.1%	黄绿色
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ DETA	95.5%	黄绿色
0.70 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.30 mol·L ⁻¹ DETA	93.6%	黄绿色
0.80 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.20 mol·L ⁻¹ DETA	93.8%	淡黄色
0.90 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.10 mol·L ⁻¹ DETA	91.9%	淡黄色
1.00 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃	86.7%	无色

由表 4 可以看出,同配比(0.6:0.4)的碳酸钾-DETA 碳酸钾-MEA 碳酸钾-DEA 二元复合溶液中,碳酸钾-DETA 的再生温度最低(107 °C),再生率最高(95.5%)。

表 4 不同复合溶液一次再生率表

Table 4 Effect of amine on capacity recovery of single regeneration of the different mixed solution

复合溶液	一次再生率	再生液颜色
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ DETA	95.5%	黄绿色
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ MEA	89.2%	无色
0.60 mol·L ⁻¹ K ₂ CO ₃ + 0.40 mol·L ⁻¹ DEA	93.8%	无色

由吸收和再生情况综合可以得出 0.60 mol·L⁻¹ K₂CO₃ + 0.40 mol·L⁻¹ DETA 溶液是 K₂CO₃ + DETA 复合体系中最佳复合溶液。

4 结论(Conclusions)

1) 纯碳酸钾溶液的吸收效果很差,但加入适量 DETA 后,效果明显得到改善。当复合碳酸钾-DETA 溶液的配比为 0.6:0.4 时,吸收效果最佳,吸收量为 0.3 mol。

2) 二元复合体系 0.6 mol·L⁻¹ 碳酸钾-0.4 mol·L⁻¹ DETA,其吸收二氧化碳的摩尔量要大于

0.4 mol·L⁻¹ DETA 与 0.6 mol·L⁻¹ 碳酸钾溶液吸收 CO₂ 摩尔量之和,这证实了碳酸钾-DETA 二元组分之间存在正交相互作用。

3) 对碳酸钾-DETA 二元复合体系,其再生温度低于单组份碳酸钾体系的再生温度(118 °C)。其中当碳酸钾-DETA 配比为 0.6:0.4 时,再生温度最低,为 107 °C。

4) 同配比的碳酸钾-DETA,碳酸钾-MEA,碳酸钾-DEA 二元复合溶液中,碳酸钾-DETA 的吸收容量(0.80 mol·L⁻¹)最大,吸收速率最高,再生温度最低(107 °C),再生率最高(95.5%)。

责任作者简介:陆诗建(1984—),男,助理工程师(工学硕士),目前在胜利油田勘察设计院从事气体处理研究工作。E-mail: lushijian88@163.com。

参考文献(References):

- 费维扬,艾宁,陈健. 2005. 温室气体 CO₂ 的捕集和分离[J]. 化工进展, 24(1): 1-4
- Fei W Y, Ai N, Chen J. 2005. Capture and separation of greenhouse gases CO₂ [J]. Chemical Industry And Engineering Progress, 24(1): 1-4 (in Chinese)
- 李清方,陆诗建,张建,等. 2009. 搅拌法对 TEA 溶液吸收和解吸 CO₂ 的实验研究[J]. 陕西科技大学学报, 27(4): 48-51
- Li Q F, Lu S J, Zhang J, et al. 2009. Experiment research of tea solutions absorb and desorb the carbon dioxide based on mixing round method [J]. Journal of ShaanXi University of Science and Technology(Natural Science Edition), 27(4): 48-51 (in Chinese)
- 陆诗建,李清方,张建,等. 2009. 烯胺溶液吸收和解吸模拟烟气中二氧化碳实验研究[J]. 应用化工, 38(9): 1245-1248
- Lu S J, Li Q F, Zhang J, et al. 2009. Experiment research on carbon dioxide of simulated flue gas absorbing and desorbing in the enamine solutions [J]. Applied Chemical Industry, 38(9): 1245-1248 (in Chinese)
- 李桂明,杨红健,贾庆,等. 2007. MDEA 水溶液脱碳平衡溶解度和动力学研究[J]. 西南石油大学学报, 29(4): 129-133
- Li G M, Yang H J, Jia Q, et al. 2007. Equilibrium solubility and kinetics of CO₂ absorption in aqueous activated methyldiethanolamine solutions [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 29(4): 129-133 (in Chinese)
- Parkinson G. 2000. Solid adsorbent scrubs CO₂ from flue-gas [J]. Chemical Engineering, 107(2): 21-24
- 肖九高. 2004. 烟道气中二氧化碳回收技术的研究[J]. 现代化工, 24(5): 47-49
- Xiao J G. 2004. Recovery of carbon dioxide from flue gas [J]. Modern

- Chemical Industry ,24(5) :47-49 (in Chinese)
- 夏明珠,严荷莲. 1999. 二氧化碳的分离回收技术与综合利用[J]. 现代化工, 19(5) :46-48
- Xia M Z , Yan H L. 1999. Separation and recovery of carbon dioxide and its comprehensive utilization [J]. Modern Chemical Industry , 19(5) :46-48(in Chinese)
- 宿辉. 2006. 二氧化碳的吸收方法及机理研究[J]. 环境科学与管理, 31(8) :79-82
- Su H. 2006. Research on absorption method and mechanism of carbon dioxide[J]. Environmental Science and Management ,31(8) :79-82 (in Chinese)
- 杨向平,陆诗建,高仲峰,等. 2010. 基于电位法和酸碱度法的醇胺溶液吸收二氧化碳[J]. 中国石油大学学报, 34(2) :140-144
- Yang X P ,Lu S J ,Gao Z F , *et al.* 2010. Amine solutions absorbing carbon dioxide based on methods of potentiometry and pH [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science) ,34(2) :140-144(in Chinese)
- 晏水平,方梦祥,张卫风,等. 2006. 烟气中 CO₂ 化学吸收法脱除技术分析[J]. 化工进展, 25(9) :1018-1024
- Yan S P ,Fang M X ,Zhang W F ,*et al.* 2006. Technique analyses and research progress of CO₂ separation from flue gas by chemical absorption [J]. Chemical Industry And Engineering Progress , 25(9) :1018-1024(in Chinese)