



推荐阅读:

[广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析](#)

[平顶山市煤矿区土壤重金属污染程度评价](#)

[基于灰色关联分析法的宜昌市空气质量影响因素分析](#)

[废旧锂离子电池流向及管理现状调研](#)

[生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景](#)

[环境敏感区农村生活污水处理工艺设计案例分析](#)

[氨法脱硫+低温 SCR 脱硝工艺在焦炉烟气净化中的应用](#)

[反渗透双膜工艺处理印染废水研究进展](#)

[重金属污染土壤修复技术研究进展](#)

[基于 SARIMA 模型的二氧化氮时间序列预测研究](#)

[碳基功能材料在土壤修复中的应用](#)

[虾蟹壳对水中刚果红吸附性能的研究](#)

[农村生活垃圾生物质热解和燃烧气相数值模拟](#)

[基于灰色 GM\(1, 1\)模型的成都市大气污染物浓度预测](#)

[江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究](#)

[欧盟 15 国污水污泥产生量与处理处置方法对比](#)

[基于 Hydrus-1D 的粉煤灰堆场 Cr\(VI\) 在包气带中迁移规律的研究](#)

[工业废水活性炭深度处理的研究](#)



移动扫码阅读

李建光,李进中,钦柏豪.模拟钢铁行业烟气中CO₂捕获与解吸实验研究,2019,33(5):23-27+35.

LI Jianguang, LI Jinzhong, QIN Bohao. Simulation of carbon dioxide capture and desorption in steel industry flue gas[J]. Energy Environmental Protection, 2019, 33(5): 23-27+35.

模拟钢铁行业烟气中CO₂捕获与解析实验研究

李建光,李进中,钦柏豪

(湖南中冶长天节能环保技术有限公司,湖南长沙410205)

摘要:以乙醇胺(MEA)、N-甲基二乙醇胺(MDEA)溶液为对象,采用填料吸收装置考察了醇胺种类、浓度、配比、空塔气速以及CO₂浓度对模拟钢铁行业烟气中CO₂吸收和解析的影响。结果表明:与单独一种醇胺溶液相比,两种醇胺溶液的混合液对CO₂的吸收性能有明显提高;增大醇胺溶液浓度和液气比有利于CO₂的吸收;降低CO₂浓度和空塔气体流速有利于提高CO₂脱除率;相同条件下,MEA和MDEA混合液的吸收效果最为理想,具体吸收效率排序为混合液>MEA>MDEA,三种醇胺溶液均有较好的解析效果且无明显差别。

关键词:钢铁行业;CO₂;醇胺溶液;吸收;解析

中图分类号:X511

文献标志码:A

文章编号:1006-8759(2019)05-0023-05

Simulation of carbon dioxide capture and desorption in steel industry flue gas

LI Jianguang, LI Jinzhong, QIN Bohao

(Hunan Changtian Energy Conservation and Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changsha 410205, China)

Abstract: Taking Monoethanolamine (MEA) and N-Methyldiethanolamine (MDEA) solutions as study objects, the impacts of alkanolamine solution type, concentration, liquid-gas ratio, gas velocity and CO₂ concentration on CO₂ capture and desorption in steel industry flue gas was investigated in a packed absorber. The results showed that the absorption performance was improved obviously by mixing two alkanolamine solutions. Increasing the concentration of alkanolamine or liquid-gas ratio is beneficial to the absorption of CO₂. Decreasing the concentration of CO₂ or gas velocity in air tower is benefit to the desorption of CO₂. Under the same conditions, the absorption ability of MEA and MDEA mixture was the greatest. The absorption efficiency was mixed solution > MEA > MDEA. All the three types of alkanolamine solutions showed good desorption effect without obvious difference.

Key words: Steel industry; CO₂; Alkanolamine solution; Absorption; Desorption

0 引言

随着现代工业的快速发展,大量天然含碳资源的燃烧和消耗使CO₂排放到大气中,导致温室效应不断加剧。降低其排放是当务之急,已引起全球各界的广泛关注^[1,2]。我国目前每年相当于全球CO₂总排放量的10%,位居世界第一位。我

国CO₂排放密度比世界平均水平高出26%。我国工业生产中钢铁企业CO₂排放量所占比例为15%以上。碳是钢铁冶金过程能量流和物质流的主要载体,据统计,每生产1t钢需要投入约2t的物料和0.7t的标准煤消耗,我国现行的钢铁行业能耗水平高于世界先进水平。因此,钢铁行业是我国碳减排的重点行业,是我国发展低碳经济的重要

收稿日期:2019-05-29

第一作者简介:李建光(1986-),男,湖南长沙人,环境保护工程师,硕士研究生,研究方向为大气污染控制新技术。TEL:0731-88967926 转7926。E-mail:1437447373@qq.com

组成部分,我国钢铁行业 CO₂ 的减排存在巨大的空间^[3-5]。

工业上对 CO₂ 的吸收脱除方法主要包括物理吸收和化学吸收两类,其中化学吸收方法经历了从热钾碱法、苯菲尔法到有机胺法的发展历史^[6]。有机胺法吸收 CO₂ 具有吸收速率快、溶液的酸气负荷大、净化度高、再生能耗低、溶液稳定及对装置腐蚀性低等优点,因而得到广泛应用^[7,8]。本实验建立了一套模拟钢铁行业烟气脱碳的实验装置和流程,选择乙醇胺(MEA, AR), N-甲基二乙醇胺(MDEA, AR)水溶液作为吸收剂,对化学法吸收 CO₂ 进行进一步考察和研究,以为脱碳醇胺溶液的配比提供一定的依据,并为脱碳工业化应用装置的设计提供优化的理论数据。

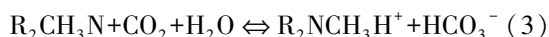
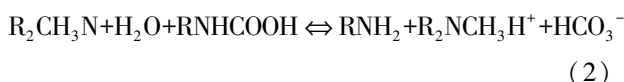
1 实验材料与方法

1.1 醇胺水溶液与 CO₂ 的反应原理

吸收解析是石油化工生产过程中较常用的重要单元操作过程。吸收过程是利用气体混合物中各个组分在液体(吸收剂)中的溶解度不同,来分离气体混合物。提高压力、降低温度有利于溶质吸收,降低压力、提高温度有利于溶质解析。正是利用这一原理分离气体混合物,而吸收剂可以重复使用。

有机醇胺溶液吸收酸性气体,主要是由于胺类分子中含有氮原子,胺在水溶液中离解,溶液变为碱性,易于与酸性气体发生反应,从而达到脱除和回收的目的。根据文献研究^[9-11]: N-甲基二乙醇胺属于叔胺,具有很强的选择性,其溶液与 CO₂ 反应属于慢反应。为加快 CO₂ 吸收速率,在 MDEA 溶液中加入一定的活化剂乙醇胺。两种醇胺溶液的理化性质分别为: N-甲基二乙醇胺分子式: MDEA, R₂CH₃N, 分子量 119.16, 熔点: -21 ℃, 沸点: 244.85 ℃, 密度 1.038 t/m³, 无毒无色液体, 与水混溶; 乙醇胺分子式: MEA, RNH₂, 分子量 61.08, 熔点: 10 ℃ ~ 11 ℃, 沸点: 170 ℃, 密度 1.018 t/m³, 有毒、腐蚀无色液体, 与水混溶。

其化学反应按下式进行^[11]:



由式(1)~(2)可知,活化剂 MEA 吸收了 CO₂, 传递至液相, 大大加快了 MDEA 的反应速度, 而 MEA 又被再生。MDEA 分子含有一个叔胺基团, 吸收 CO₂ 后生成碳酸氢盐, 加热再生时远比伯仲胺生成的氨基甲酸盐所需的热量低。

1.2 试剂及仪器

表 1 CO₂ 吸收解析装置试剂及仪器

序号	名称	分子式	品质/型号	厂家
1	乙醇胺	MEA	分析纯	广州市西岭化工有限公司
2	N-甲基二乙醇胺	MDEA	分析纯	广州市西岭化工有限公司
3	去离子水	H ₂ O	去离子	
4	气相色谱仪		GC-8900	山东鲁南化工仪器厂

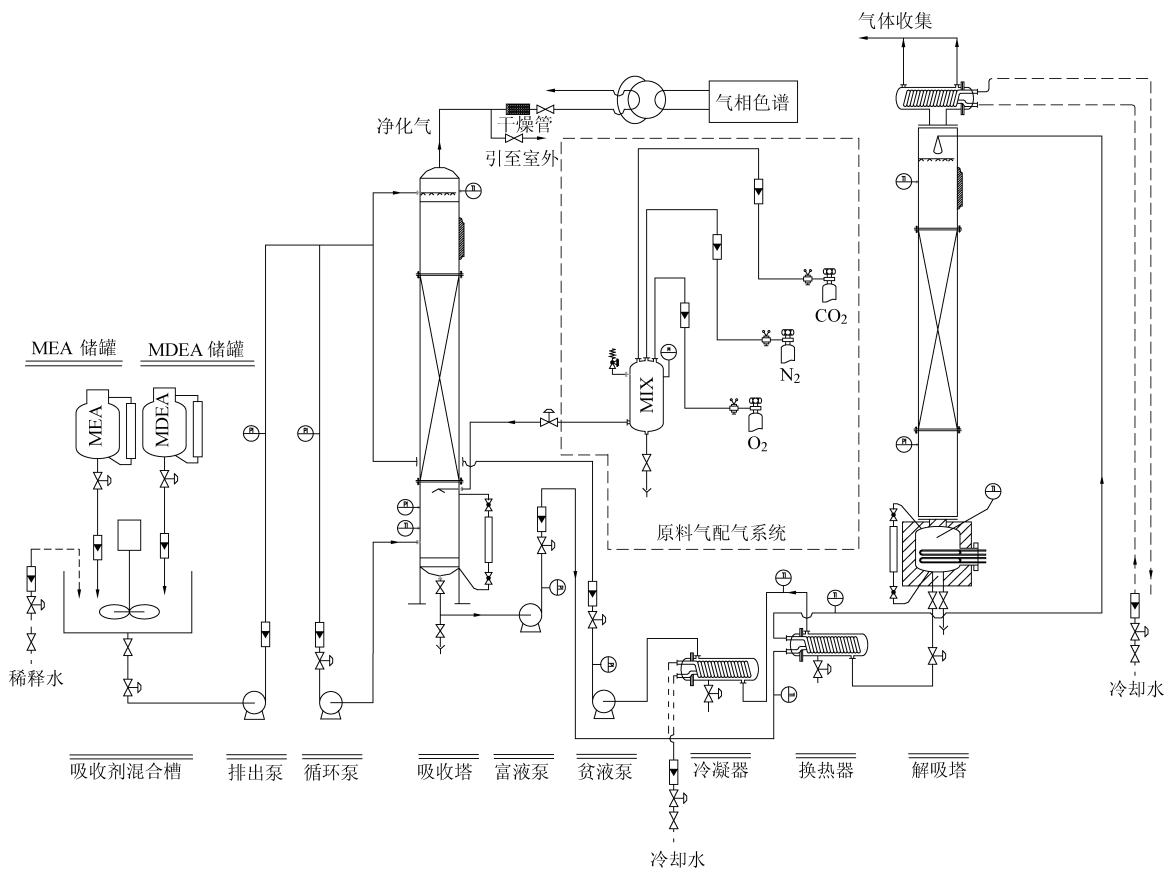
1.3 实验装置及流程

在固定床实验台架上进行实验,所用主要设备及装置流程如表 2 及图 1 所示。CO₂ 钢瓶内 CO₂ 经减压后与风机出口空气按一定比例混合(控制混合气体中 CO₂ 含量在 4%~12%), 经稳压罐稳定压力及气体成分混合均匀后, 进入吸收塔下部。混合气体在塔内和吸收液体逆向接触, 气体中的 CO₂ 被醇胺水溶液吸收后, 剩余气体由塔顶排出。

吸收了 CO₂ 气体的富液由富液泵从吸收塔底部经换热器与解析塔底来的贫液换热后送至解析塔上部, 与解析气体在塔内逆向接触。富液中 CO₂ 在 120 ℃~130 ℃(解析塔底部采用电加热釜)温度下被解析出来, 解析出的气体由塔顶换热器顶部排出放空, 解析后的贫液由解析塔下部经列管换热器与富液换热, 再经列管换热器冷却后由贫液泵送至吸收塔上部循环使用(吸收塔中溶液温度维持在 60 ℃左右), 继续进行 CO₂ 气体的吸收操作。

表 2 CO₂ 吸收解析装置主要设备表

序号	名称	规格	备注
1	吸收塔	主体塔节有机玻璃 Φ210×1500 mm; 下部入口段, 不锈钢 Φ200×800 mm;	不锈钢规整波纹填料, Φ200 mm×100 mm, 比表面积: 700 m ² /m ³ , 高度 1 500 mm, 1 m 填料相当于理论塔板数 8~10 层。
2	解析塔	主体塔节有机玻璃 Φ80×1500 mm; 塔釜, 不锈钢 Φ325×400 mm;	不锈钢规整波纹填料, Φ80 mm×100 mm, 比表面积: 700 m ² /m ³ , 高度 1 500 mm, 1 m 填料相当于理论塔板数 8~10 层。

图 1 CO₂ 吸收解析装置及流程示意图

2 结果与分析

2.1 溶液种类及浓度对 CO₂ 吸收、解析效率的影响

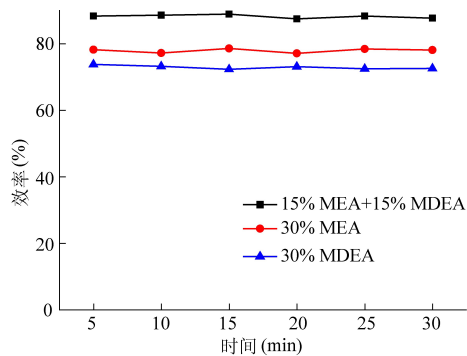
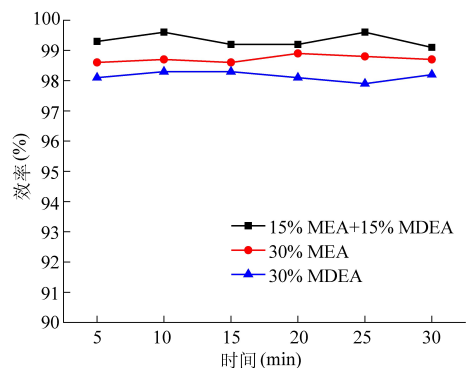
本实验首先考察了醇胺溶液种类及浓度对 CO₂ 吸收和解析效率的变化关系。

2.1.1 溶液种类对 CO₂ 吸收和解析效率的影响

不同醇胺溶液对 CO₂ 吸收和解析的关系如图 2 和图 3 所示。该实验组考察了 30% MEA、30% MDEA、15% MEA+15% MDEA 三种醇胺溶液对 CO₂ 吸收和解析的效率。

从图 2 中可以看出,在相同的吸收时间内(30 min)、相同的 CO₂ 体积浓度下(6%)、吸收塔空速为 1.0 m/s 时,三种有机胺溶液吸收和解析效率大小依次是 15% MEA+15% MDEA > 30% MEA > 30% MDEA。混合液的吸收效率明显好于单独醇胺的吸收效率,达到约 89%。

从图 3 中可以看出,不同种类的醇胺溶液都表现出了较好的 CO₂ 解析效果,15% MEA+15% MDEA 混合液对 CO₂ 解析效率达到 99.7%,略高于另两种醇胺溶液解析效率。

图 2 不同种类胺液对 CO₂ 吸收效率的影响图 3 不同种类胺液对 CO₂ 解析效率的影响

2.1.2 混合溶液浓度对 CO₂ 吸收、解析效率的影响

醇胺混合液浓度对 CO₂ 吸收和解析的关系如图 4 和图 5 所示。该实验组考察了 30 % 醇胺混合液 (15 % MDEA+15 % MEA)、20 % 醇胺混合液 (10 % MDEA+10 % MEA)、10 % 醇胺混合液 (5 % MDEA+5 % MEA) 对 CO₂ 吸收和解析的效率。

从图 4 中可以看出,在相同的吸收时间内 (30 min)、相同的 CO₂ 体积浓度下 (6 %)、吸收塔空速为 1.0m/s 时,三种醇胺混合液吸收效率大小依次是 30 % (15 % MDEA+15 % MEA) > 20 % (10 % MDEA+10 % MEA) > 10 % (5 % MDEA+5 % MEA)。可以看出醇胺混合溶液的浓度是影响 CO₂ 吸收效果的一个因素,而且 CO₂ 随着醇胺混合溶液浓度的增加吸收效果越好。

从图 5 中可以看出,随着醇胺混合溶液浓度的增加解析效果相差不大,因此 CO₂ 解析过程受醇胺溶液浓度的影响较小。

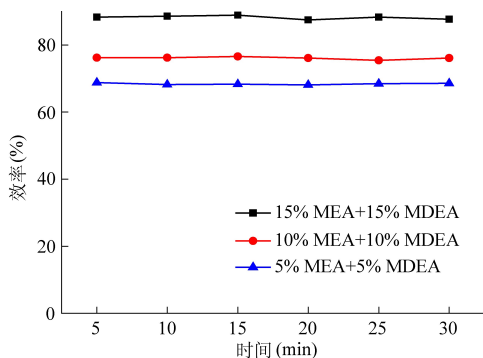


图 4 不同浓度 MDEA+ MEA 混合胺液对 CO₂ 吸收效率的影响

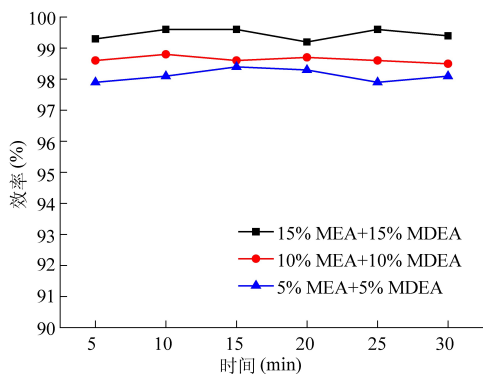


图 5 不同浓度 MDEA+ MEA 混合胺液对 CO₂ 解析效率的影响

2.1.3 混合溶液配比对 CO₂ 吸收、解析效率的影响

醇胺混合溶液中 MDEA 与 MEA 配比对 CO₂ 吸收和解析的关系如图 6 和图 7 所示。该实验组考察了 30 % 醇胺混合液 (15 % MDEA + 15 % MEA)、30 % 醇胺混合液 (20 % MDEA + 10 % MEA)、30 % 醇胺混合液 (10 % MDEA+20 % MEA)

CO₂ 吸收和解析的效率。

从图 6 中可以看出,在相同的吸收时间内 (30 min)、相同的 CO₂ 体积浓度下 (6 %)、吸收塔空速为 1.0 m/s 时,3 种醇胺混合液对 CO₂ 吸收效率大小依次是 30 % (15 % MDEA+15 % MEA) > 30 % (10 % MDEA+20 % MEA) > 30 % (20 % MDEA+10 % MEA)。所以可以看出 MDEA 与 MEA 配比不同也是影响 CO₂ 吸收效果的一个因素,而且 MDEA 与 MEA 配比为 1 : 1 时的吸收效果最好。

从图 7 中可以看出,三种配比的醇胺混合溶液解析效果相差不大,因此解析过程受醇胺混合溶液配比的影响较小。

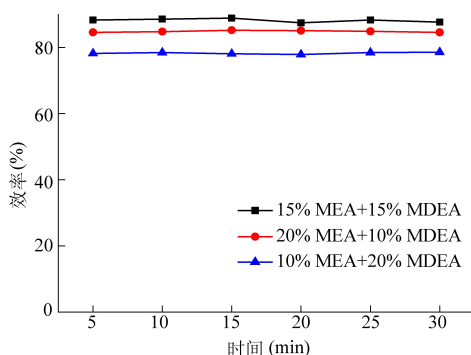


图 6 不同配比 MDEA+ MEA 混合胺液对 CO₂ 吸收效率的影响

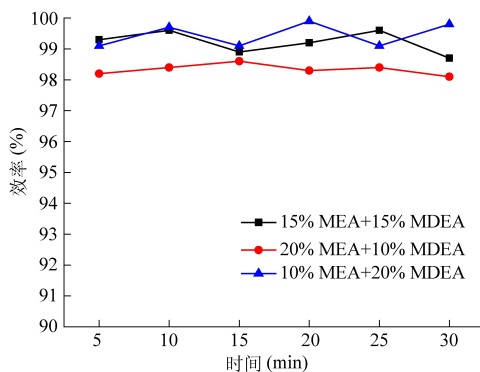


图 7 不同配比 MDEA+ MEA 混合胺液对 CO₂ 解析效率的影响

2.2 CO₂ 浓度对吸收和解析的影响

模拟烟气中 CO₂ 浓度对 CO₂ 吸收和解析的关系如图 8 所示。该实验组考察了 CO₂ 浓度分别 4 %、6 %、8 %、10 %、12 % 的模拟钢铁行业烟气对吸收和解析的效率影响,初设条件为:吸收液浓度 30 % (15 % MDEA+15 % MEA);吸收塔空速为 1.0 m/s。

从图 8 中可以看出,在相同的吸收时间内 (30 min),5 种不同浓度的 CO₂ 吸收效率大小依次是 4 % > 6 % > 8 % > 10 % > 12 %。所以可以看出 CO₂ 浓度是影响吸收效果的一个因素,而且随着

CO₂ 浓度的增加吸收效果越差。随着 CO₂ 浓度的增加解析效果相差不大且解析效果较好,总体的走势是随着 CO₂ 浓度的增加解析效果越好,但达到一定值后解析效率保持一定值。

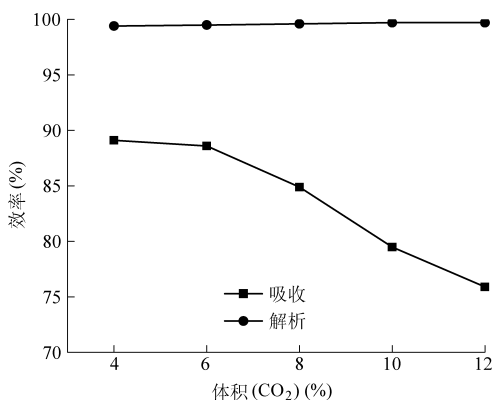


图 8 CO₂ 浓度对 15 %MDEA+15 %MEA 吸收和解析效率的影响

2.3 气体流速对 CO₂ 吸收和解析的影响

空速是考察吸收解析性能的一项重要指标。空速值对 CO₂ 吸收和解析的影响如图 9 所示。该实验组考察了吸收塔空速分别 0.8、1.0、1.2、1.4、1.6 m/s 的模拟烟气对 CO₂ 吸收和解析的效率影响,初设条件为:醇胺混合液浓度 30 % (15 % MDEA+15 % MEA),CO₂ 体积浓度为 6 %,设备运行 30 min。

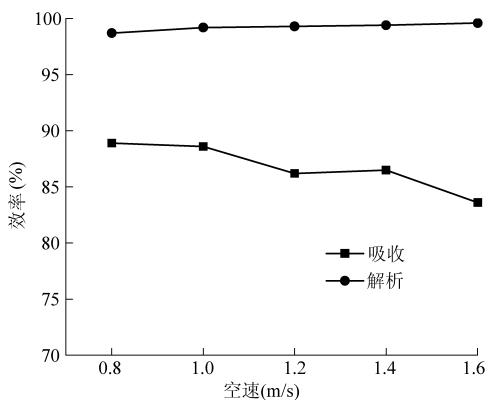


图 9 空速对 15 %MDEA+15 %MEA 混合胺液吸收和解析效率的影响

从图 9 中可以看出,在相同的吸收时间内 (30 min),不同吸收塔空速对吸收效率大小依次是 0.8>1.0>1.2>1.4>1.6 m/s。虽然在空速为 1.2 m/s 处吸收效果有些波动,但整体上吸收效率是随着气体流速的增加而降低。随着气体流速的增加解析效果相差不大且解析效果整体较好,解析效率总体的走势是随着气体流速的增加解析效果越好。

因此可知:混合液浓度 30 % (15 %MDEA+15 % MEA) 在较宽的空速值范围内仍具有较高的吸收和解析效率。

2.4 液气比对 CO₂ 吸收和解析的影响

液气比是浆液循环量和处理烟气体积流量之比,是吸收反应效率的一个重要参数,液气比对 CO₂ 吸收和解析的影响如图 10 所示。

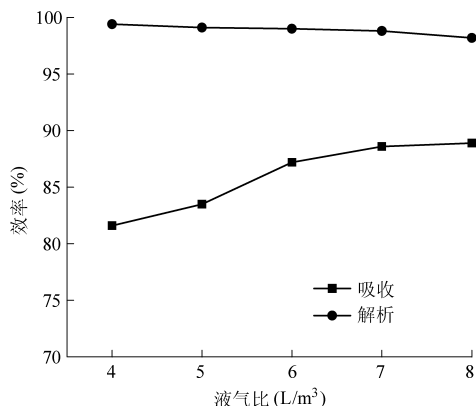


图 10 液气比对 15 %MDEA+15 %MEA 混合胺液吸收和解析效率的影响

该实验组考察了吸收塔液气比分别 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 L/m³ 时对 CO₂ 吸收和解析的效率影响,初设条件为:醇胺混合液浓度 30 % (15 % MDEA+15 % MEA),模拟烟气体积流量为 100 m³/h (其中 CO₂ 体积浓度为 6 %),设备运行 30 min。

从图 10 中可以看出:在相同的吸收时间内,不同液气比对吸收效率大小依次是 8.0>7.0>6.0>5.0>4.0 L/m³。液气比的增大了吸收塔内的喷淋密度,增加了气液接触机率,从而脱硫效率增大。随着液气比的增加,解析效率总体的走势是随着气体流速的增加解析效果有所降低。

3 结论

本实验利用填料塔吸收-解析实验装置,以醇胺溶液为吸收剂,利用引风机和罐装 CO₂ 模拟烟气的吸收。实验过程中分别探究了不同种类醇胺溶液、不同浓度及配比的醇胺溶液、不同 CO₂ 浓度、不同空速以及液气比对 CO₂ 吸收解析效果的影响。通过比较分析得出以下结论:

(1) 相同条件下不同种类的醇胺溶液的吸收效果是不一样的,MEA 和 MDEA 混合液的吸收效果相对来说是最理想的,具体吸收效率为醇胺混合液>MEA>MDEA;实验中 3 种醇胺溶液的解析

(下转第 35 页)

本增加 0.5337 元。按照每年运行 300 d, 10 000 m³/d 废水产生量来核算, 污水处理厂每年增加成本 160.11 万元。低氨氮废水处理的达标排放是企业运行环保要求的基本前提, 采取折点加氯化学法可简单、快速的实现。

参考文献

- [1] 周国华, 完颜华, 刘艳球. 微污染源中的氨氮及其处理技术[J]. 环境科学与管理, 2006, 6: 91-93.
- [2] 白雁冰. 折点加氯法脱氨氮后余氯的脱除[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(11): 102-108.
- [3] 姜瑞, 曾红云, 王强. 氨氮废水处理技术研究进展[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(6): 131-134.
- [4] 段明星, 徐效清. 氨氮废水的处理技术及其研究进展[J]. 环境与发展, 2015, 6: 68-70.
- [5] 李佳, 朱百泉, 祝明, 等. 折点加氯反应在次氯酸钠消毒中水中的应用[J]. 环境工程学报, 2012, 6(11): 4069-4073.
- [6] 张大超, 曾宪营, 张菊花. 氨氮废水处理方法研究进展[J]. 四

- 川有色金属, 2011, 4(4): 46-49.
- [7] 李婵君, 贺剑明. 折点加氯法处理深度处理低氨氮废水[J]. 广东化工, 2013, 40(20): 43-44.
- [8] 郑涵, 姜萍萍. 微污染源水中氨氮去除研究[J]. 城镇供水, 2013(1): 18-21.
- [9] 罗广英. 折点加氯去除水中氨氮[J]. 广州化工, 2009, 37(5): 172-187.
- [10] 陈志平. 次氯酸钠消毒在水厂中应用[J]. 城镇排水, 2009(4): 37-41.
- [11] 费明明, 沈亮, 陆丹红, 等. 折点加氯对微污染原水中氨氮去除效果的研究[J]. 给水排水, 2016(9): 13-17.
- [12] 曾次元, 李亮, 赵心越. 电化学氧化法除氨氮的影响因素[J]. 复旦学报(自然科学版), 2006(3): 348-352.
- [13] 孙锦宜. 含氨废水处理技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 164-254
- [14] 黄海明, 肖贤明, 晏波. 折点氯化处理低浓度氨氮废水[J]. 水处理技术, 2008(8): 63-65.
- [15] 胡允良, 张震威, 翟巍. 制药废水的氨氮吹脱实验[J]. 工业水处理, 1999(4): 19-21.

(上接第 27 页)

效果都比较理想且无明显差别。

(2) 相同条件下不同浓度的醇胺混合溶液吸收效果不同, 实验证明 CO₂ 的吸收效率随着醇胺溶液浓度的增加而增加。解析效率受醇胺溶液浓度的影响较小且解析效率都在 99% 以上。

(3) 相同条件下 CO₂ 吸收效率的是随着不同 CO₂ 浓度的增加而降低, 但解析效果随着 CO₂ 的浓度增加有所增加, 但解析效率随着 CO₂ 浓度的增加而有所提升。

(4) 空速的不同也一定程度的影响到了 CO₂ 的吸收效果, 实验证明 CO₂ 的吸收效率随着空速的增加而下降, 但解析效率随着空速的增加有所提升。

(5) 实验证明 CO₂ 的吸收效率随着液气比的增加而增大, 但解析效率随着空速的增加有所降低。

综上所述, 采用醇胺混合液吸收烟气中的 CO₂ 是可行的, 醇胺溶液吸收效果受醇胺溶液种类、浓度、配比、CO₂ 含量、空速以及液气比的影响。醇胺溶液吸收 CO₂ 后解析比较容易达到理想效果, 解析率均可达到 99% 左右。

参考文献

- [1] 王祥云. 合成氨气体净化技术进展[J]. 气体净化, 2004, 4(4): 1-2.
- [2] IPCC. Climate Change 2001—Impacts, Adaptation, and Vulnera-

- bility, Technical sammlm ~ offiae working group II [R]. Cambridge University Press, 2002.
- [3] 张永钢. 钢铁企业的二氧化碳减排[J]. 浙江冶金, 2006, (1): 13-15.
- [4] 甄瑞卿, 张红, 董广霞, 等. 基于产业结构调整情景下的中国钢铁行业大气污染排放预测[J]. 环境工程, 2017, 6(35): 114-117.
- [5] 郝经伟, 赵宏, 张标, 等. 钢铁二氧化碳减排情况与建议[J]. 冶金经济与管理, 2015(6): 35-36.
- [6] Descampa C, Bouallou C, Kanneche M. Efficiency of all Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Power Plant Including CO₂ Removal[J]. Energy, 2008, 33: 874-881.
- [7] Rho S W, Yoo K P, Lee J s, et al. Solubility of CO₂ in aqueous methyldiethanolamine sosutions [J]. Chem. Eng. Data, 1997, 42(6): 1161-1164.
- [8] 刘华兵, 徐国文, 张成芳, 等. 活化 MDEA 水溶液中二氧化碳溶解度[J]. 华东理工大学学报, 1999, 25(3): 242-246.
- [9] Hagewiesche D P, Ashour S S, AIGHA, et al. Absorption of carbon dioxide into aqueous blends of monoethanolamine and n-methyldiethanolamine [J]. Chemical Engineering Science, 1995, 50(7): 1071-1079.
- [10] Rinker, Edward B, Ashour, et al. Absorption of carbon dioxide into aqueous blends of diethanolamine and methyldiethanolamine [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2000, 39(11): 4346-4356.
- [11] 李桂明, 杨红健, 贾庆, 等. 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, 2007(4): 129-133.