

碳捕集技术在燃气电厂中的应用

王照成*, 晏双华

(中国五环工程有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要:介绍了吸收法碳捕集技术处理燃气电厂烟气的工艺流程以及该工艺中的关键设备。选用 MEA 和离子液体作为吸收剂, 分别对碳捕集装置进行了试验研究。结果表明, 离子液体作为吸收剂具有更好的运行稳定性和经济性。

关键词:碳捕集; 燃气电厂; MEA; 离子液体

中图分类号: TQ116.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)09-0195-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.09.044

Application of carbon capture technology in gas power plant

WANG Zhao-cheng*, YAN Shuang-hua

(Wuhuan Engineering Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: This paper introduces the process routine of treating flue gas from gas power plant by absorption way carbon capture technology and concerning key facilities. With MEA and ionic liquid as absorbent respectively, the carbon capture unit is tested and studied. The results show that ionic liquid as absorbent has better stability and economy.

Key words: carbon capture; gas power plant; MEA; ionic liquid

研究表明, 温室气体的排放是导致全球气候变暖的主要原因^[1]。作为主要的温室气体, CO₂ 减排已经成为世界各国关注的焦点^[2]。火力发电厂是 CO₂ 的主要排放源之一, 通过碳捕集技术捕集电厂烟气中的 CO₂ 并加以利用已经成为电厂 CO₂ 减排的重要手段^[3]。

电厂烟气碳捕集技术主要可以分为吸附法、吸收法和膜分离法等, 其中吸收法是最具优势的碳捕集技术^[4-6]。吸收法碳捕集技术的关键在于吸收剂的选择, 目前以乙醇胺 (MEA) 为吸收剂的碳捕集技术较为成熟, 得到了广泛的应用^[7-8], 但是该工艺也存在吸收剂易降解、再生能耗高、设备易腐蚀等问题。离子液体具有蒸气压极低、热稳定性好、优良的可设计性及独特的气体选择性等特点, 在碳捕集领域有很好的应用前景^[9-12]。

目前, 吸收法碳捕集技术在我国燃煤电厂已经实现了工业化应用, 燃气电厂烟气碳捕集技术的研发尚处于起步阶段^[13-14]。和燃煤电厂的烟气相比, 燃气电厂烟气具有 CO₂ 浓度低、O₂ 含量高的特点, 对碳捕集技术提出了更高的要求。因此, 开发适用于燃气电厂烟气的吸收剂及碳捕集工艺至关重要。依托某燃气电厂, 本文中对燃气电厂烟气碳捕集进行了首次工业化应用, 考查了 MEA 和离子液体分别作为吸收剂的碳捕集技术的可靠性和经济性。

1 CO₂ 捕集装置及工艺流程简述

CO₂ 捕集装置额定负荷下处理烟气流量为 3 242 m³/h, 产品为 5 t/d 食品级液态 CO₂。烟气规格如表 1 所示。

表 1 烟气规格

项目	温度/ ℃	压力/ MPa	组成(摩尔分数)/%					
			CO ₂	N ₂	O ₂ +Ar	NO _x	SO ₂	H ₂ O
数值	80	常压	4.24	75.45	12.08	12.1×10 ⁻⁴	0.19×10 ⁻⁴	8.23

CO₂ 捕集装置由 CO₂ 捕集系统和 CO₂ 液化系统 2 部分组成。CO₂ 捕集系统和 CO₂ 液化系统工艺流程如图 1、图 2 所示。

1.1 CO₂ 捕集系统

从烟道来的烟气经风机增压后进入水洗塔下部, 与从塔顶喷淋的凉水接触降温。降温后的烟气从水洗塔顶部引出并进入吸收塔下部, 在吸收塔内与从吸收塔顶部进入的吸收剂溶液逆流接触, 气体中的 CO₂ 被吸收剂溶液吸收。未被吸收的气体进入回收塔底部, 在回收塔内用洗涤水喷淋洗涤, 回收其中夹带的吸收剂后, 由回收塔顶引出后放空。

吸收 CO₂ 后的富液从吸收塔塔底由富液泵抽出, 加压后进入贫富液换热器, 在换热器中被从再生塔底出来的贫液加热后经再生塔上部喷头喷淋入

收稿日期: 2018-02-09; 修回日期: 2018-07-04

作者简介: 王照成 (1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事化工工程工艺设计工作, 通讯联系人, 027-81926205, wangzhaocheng@cwcec.com。

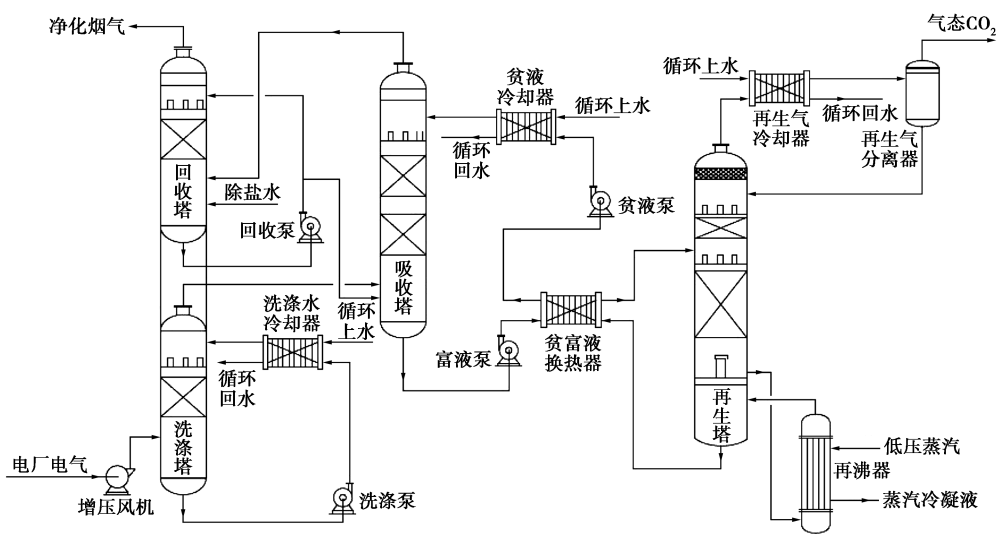


图 1 CO₂ 捕集系统工艺流程

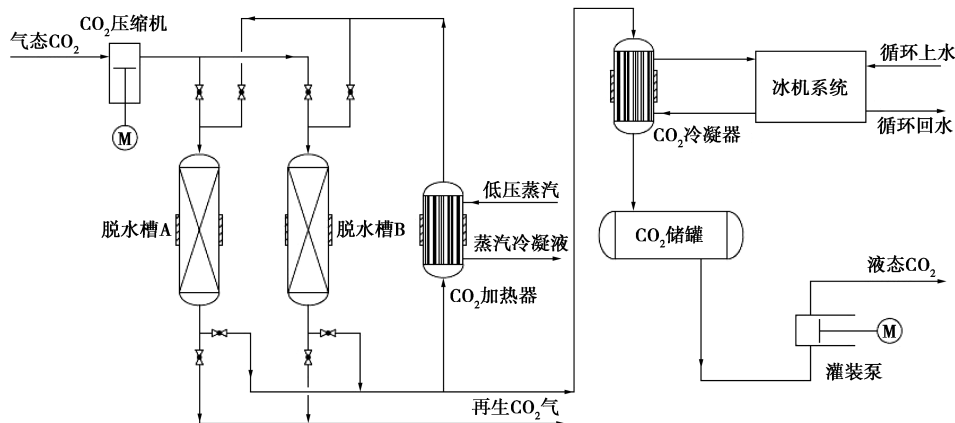


图 2 CO₂ 液化系统工艺流程

塔。在再生塔内,富液被上升的蒸汽气提,解析出CO₂。解析出的CO₂随同大量的水蒸汽及少量吸收剂由再生塔塔顶引出。解析出的再生气进入再生气冷却器冷却后去再生气分离器进行气液分离。分离出水分后的CO₂气体去CO₂液化系统。

再生塔底部设置1台再沸器,采用低压蒸汽对塔底溶液间接加热,为吸收剂再生提供热源。由再生塔底部引出的贫液经贫富液换热器换热后,由贫液泵升压,经贫液冷却器进一步降温后送入吸收塔上部重新吸收CO₂。

1.2 CO₂ 液化系统

来自CO₂捕集系统的气态CO₂经CO₂压缩机后进入脱水槽,脱水后的气态CO₂进入CO₂冷凝器降温,冷却介质由冰机系统提供。降温后的CO₂以液态形式进入CO₂贮罐,最终经过罐装泵送出界外。

脱水槽采用1开1备,1台脱水1台再生,采用脱水后的气态CO₂作为再生介质,经CO₂加热器加热后对脱水槽进行再生。

2 主要设备介绍

2.1 吸收塔

吸收塔是CO₂捕集系统的核心设备,在吸收塔内烟气与吸收剂溶液进行逆向接触,实现CO₂的脱除。吸收塔为填料塔,尺寸为 $\Phi 1\ 000 \times 15\ 130$ (T-T) mm,塔体材料为304不锈钢,塔内装填7 m³规整填料。吸收塔操作参数(设计值)如表2所示。

表 2 吸收塔操作参数

项目	数值	项目	数值
入塔烟气压力/kPa	7	入塔吸收剂溶液流量/(m ³ ·h ⁻¹)	6
出塔烟气压力/kPa	3	入塔吸收剂溶液温度/℃	40
入塔烟气温度/℃	40	出塔吸收剂溶液温度/℃	58
出塔烟气温度/℃	40		

2.2 再生塔

在再生塔内,富液和塔底蒸发的气相进行逆向

接触,将 CO₂ 从富液中解析出来,贫液去吸收塔循环使用,解析出来的气体冷却分液后送下游液化系统。再生塔为填料塔,尺寸为 $\Phi 600 \times 12184$ (T-T) mm,塔体材料为 304 不锈钢,塔内装填 1.4 m³ 规整填料。再生塔操作参数(设计值)如表 3 所示。

表 3 再生塔操作参数

项目	数值	项目	数值
入塔富液流量/(m ³ ·h ⁻¹)	6	塔底压力/MPa	0.08
入塔富液温度/℃	95~110	塔顶温度/℃	100
塔顶压力/MPa	0.05	塔底温度/℃	115

2.3 CO₂ 压缩机

CO₂ 压缩机采用往复式压缩机,三级压缩,额定流量为 150 m³/h,电机功率为 45 kW。CO₂ 压缩机操作参数(设计值)如表 4 所示。

表 4 CO₂ 压缩机操作参数

项目	压缩机入口压力/ MPa	压缩机出口压力/ MPa	气态 CO ₂ 流量/ (m ³ ·h ⁻¹)
数值	0.12	2.9	118

2.4 脱水槽

脱水槽采用 1 开 1 备,内装活性炭作为脱水剂,1 台脱水 1 台再生,再生时加热 6 h 后停止加热,进行 6 h 吹冷,备用。采用脱水后的气态 CO₂ 作为再生介质,经 CO₂ 加热后对脱水槽进行再生,再生温度为 180~220℃。

2.5 冰机系统

冰机系统为半封闭螺杆式盐水机组,目的是为 CO₂ 液化提供冷量。采用冷媒 R22,载冷剂为质量分数 27% 的氯化钙溶液,载冷剂进口温度为 -20℃,出口温度为 -25℃,制冷量为 39 kW。

3 装置运行分析

分别以 MEA 和离子液体作为吸收剂,对 CO₂ 捕集装置进行工业试验,运行及消耗数据(以每生产 km³ CO₂ 产品计)如表 5 所示。

表 5 的数据表明,无论是使用 MEA 还是使用离子液体作为吸收剂,实际运行数据均优于设计值。采用 MEA 作为吸收剂时,CO₂ 的吸收效率略高,说明 MEA 对 CO₂ 的吸收能力更高一些。相比而言,离子液体的再生能耗仅为 MEA 的 75% 左右,二者的电耗相差不大。另外,离子液体在运行过程中几乎没有消耗,说明离子液体具有更高的稳定性。

表 5 CO₂ 捕集装置运行及消耗数据

项目	MEA		离子液体	
	设计值	实测值	设计值	实测值
CO ₂ 吸收效率/%	80	93.4	80	86.9
CO ₂ 再生效率/%	99	99	99	99
吸收剂消耗量/kg	4.5	3.8	0.3	无检测消耗
蒸汽消耗/t	5.5	4.5	3.5	3.38
电耗/kWh	400	192	400	215

4 结语

使用吸收法碳捕集技术对燃气电厂烟气进行了工业化应用,采用 MEA 和离子液体 2 种吸收剂对 CO₂ 捕集装置进行了试验研究。

MEA 和离子液体均适用于燃气电厂烟气碳捕集工艺。MEA 虽然具有更好的 CO₂ 吸收能力,但是离子液体在再生能耗方面具有较大优势,可以大幅降低碳捕集成本。

参考文献

- [1] 张海滨.应对气候变化—二氧化碳捕集与封存[J].工业安全与环保,2012,38(6):71-73.
- [2] 步学朋.二氧化碳捕集技术及应用分析[J].洁净煤技术,2014,20(5):9-13.
- [3] 孙路长,沈煜晖,斋滕聪,等.燃气-蒸汽联合循环电厂实施碳捕集的可行性研究[J].华电技术,2016,38(4):1-7.
- [4] 赵毅,张自丽.电厂二氧化碳捕集研究现状及展望[J].工业安全与环保,2012,38(6):74-75.
- [5] 李睿.主成分分析用于燃烧后碳捕集技术的综合评价[J].锅炉技术,2014,45(2):44-48.
- [6] 宗杰,马庆兰,陈光进,等.二氧化碳分离捕集研究进展[J].现代化工,2016,36(11):56-60.
- [7] 贺鹏,郑伯红,龚凯.醇胺法碳捕集再生能耗影响因素研究[J].现代化工,2016,36(9):171-174.
- [8] 张煜,张建,刘炳成,等.混合醇胺/MEA 法电厂烟气 CO₂ 吸收性能的实验比较[J].化工进展,2010,29(S1):435-438.
- [9] 周凌云,樊静,王键吉.离子液体捕集 CO₂[J].化学进展,2011,23(11):2269-2275.
- [10] 邓东顺,王祈宁,崔艳红,等.离子液体在 CO₂ 捕集中的应用进展[J].化学通报,2011,74(8):701-708.
- [11] 于世昆,伍艳辉.离子液体中二氧化碳的溶解度研究进展[J].现代化工,2010,30(11):18-22.
- [12] 张文林,陈瑶,高展艳,等.功能化碱性离子液体在吸收 CO₂ 领域的研究进展[J].现代化工,2017,37(2):41-45.
- [13] 郭东方,刘练波,王金意,等.燃气烟气 1 000 t/a CO₂ 捕集集中试验研究[J].中国电机工程学报,2014,34(23):3849-3855.
- [14] 陆诗建,黄凤敏,李清方,等.燃烧后 CO₂ 捕集技术与工程进展[J].现代化工,2015,35(6):48-52. ■