

文章编号: 1673-9469 (2019) 01-0051-03

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.01.011

## 基于 Aspen Plus 的燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集系统模拟分析

程亮<sup>1</sup>, 张昌建<sup>2</sup>, 张超<sup>3</sup>, 罗金伟<sup>1</sup>

(1. 邯郸学院 河北 邯郸, 056005; 2. 河北工程大学 河北 邯郸, 056000; 3. 邯郸钢铁集团有限责任公司 河北 邯郸, 056015)

**摘要:** 针对乙醇胺溶液(MEA)化学吸收法在实际应用中能耗高的问题, 在分析传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺基础上, 提出由菲涅尔式太阳能热泵和燃煤机组烟气余热共同提供再生热量的 CO<sub>2</sub> 捕集技术。利用 Aspen Plus 软件对新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集技术模拟分析, 获得具有代表性的预测结果。结果表明新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺可节约 63.80% 的热能, 新型 CO<sub>2</sub> 捕集系统再生塔内的温度分布曲线更为平滑, 更有利于 CO<sub>2</sub> 快速分离。

**关键词:** 乙醇胺; CO<sub>2</sub> 捕集技术; 低能耗; Aspen Plus

**中图分类号:** TQ534

**文献标识码:** A

## Simulation Analysis of CO<sub>2</sub> Capture System in Coal Fired Power Plant Based on Aspen Plus

CHENG Liang<sup>1</sup>, ZHANG ChangJian<sup>2</sup>, ZHANG Chao<sup>3</sup>, LUO JinWei<sup>1</sup>

(1.Handan College, Handan 056005, China; 2.Hebei University of Engineering, HanDan, 56000, China; 3.Handan Iron & steel Group Co., Ltd., Handan 056015, China)

**Abstract:** The technology of monoethanolamine(MEA) chemical absorption has high energy consumption in practical applications. Based on the analysis of the traditional MEA CO<sub>2</sub> capture technology, this paper proposes a novel MEA CO<sub>2</sub> capture technology that heat is provided by Fresnel-type solar heat pump and coal fired unit gas heat recovery system. Based on the Aspen Plus software, the new MEA CO<sub>2</sub> capture process is simulated and the representative prediction results are obtained. The results show that the new MEA CO<sub>2</sub> capture process can save energy by 63.80%; the temperature distribution curve in tower of the new CO<sub>2</sub> capture system is smoother, which is more conducive to the rapid separation of CO<sub>2</sub>.

**Key words:** monoethanolamine; CO<sub>2</sub> capture technology; low energy consumption; Aspen Plus

削减温室气体排放已成为国际社会关注热点, 我国排放的 CO<sub>2</sub> 有 40% ~ 50% 来自于火力发电厂。火力发电厂 CO<sub>2</sub> 排放具有集中、量大和稳定的特点, 根据我国的能源特点, 在相当长的时期内, 煤电为主的发电结构难以改变, 排放的 CO<sub>2</sub> 还将有较大的增长<sup>[1]</sup>。传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺是一个典型的高能耗工艺, 其热量主要消耗在贫液再生中, 这部分能耗约占整个传统 MEA 能耗的 70% ~ 80%, 因此选用高效率的加热模式可以有效降低再生能耗<sup>[2-3]</sup>。本文将菲涅尔式太阳能热泵技术和燃煤机组烟气余

热回收技术用于 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺中, 从而解决再生能耗高的难题。

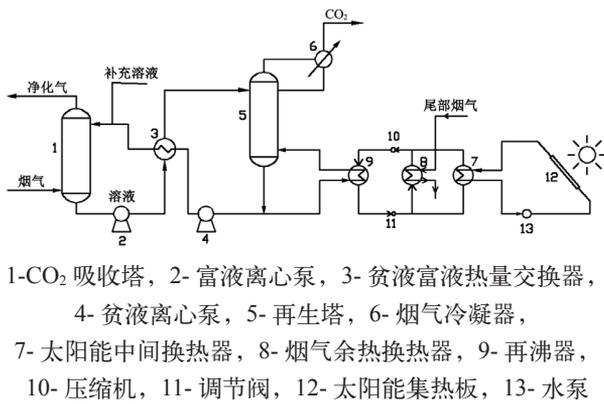
### 1 新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺

新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺如图 1 所示, 燃煤电厂高温烟气经除尘、脱硫、脱硝等一系列环保工艺后, 进入新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集系统。烟气首先进入 CO<sub>2</sub> 吸收塔, 与吸收塔顶部流出的贫液接触发生化学反应。发生反应后的贫液变成富液, 经富液

收稿日期: 2018-11-13

基金项目: 科技基础性工作专项基金资助项目(2011IM011000-4); 河北省科技支撑计划项目(14273601D)

作者简介: 程亮(1983-), 男, 河北邯郸人, 高级工程师, 硕士, 主要从事燃煤电站锅炉碳捕集、低氮燃烧和烟气脱硝治理技术的研究。



1-CO<sub>2</sub> 吸收塔, 2- 富液离心泵, 3- 贫液富液热量交换器, 4- 贫液离心泵, 5- 再生塔, 6- 烟气冷凝器, 7- 太阳能中间换热器, 8- 烟气余热换热器, 9- 再沸器, 10- 压缩机, 11- 调节阀, 12- 太阳能集热板, 13- 水泵  
图 1 新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺流程  
Fig.1 New MEA CO<sub>2</sub> capture system

泵抽离 CO<sub>2</sub> 吸收塔进入再生塔<sup>[4]</sup>。由再沸器提供热量使再生塔中的富液发生逆向化学反应, 使得富液再次变为贫液, 再生所需热量由菲涅尔式太阳能热泵和燃煤机组烟气余热换热装置提供。其中菲涅尔式太阳能热泵系统主要由太阳能集热器、中间换热器、节流阀等元件组成。菲涅尔式太阳能热泵技术采用直接蒸汽发生技术, 以水做导热介质。反射镜结构每列镜片采用单独的电机进行驱动控制。驱动系统位于两组镜片的中间, 驱动镜片追踪太阳移动。根据太阳能辐射计算软件和光线追踪软件, 建立了太阳能镜片驱动控制系统设计。对太阳能集热管的镜面风载荷进行数值研究, 建立太阳能镜面风载荷的数值模拟, 如图 2 所示。

## 2 Aspen Plus 模拟分析

### 2.1 模拟对象

模拟对象选取容量为 600 MW、发电效率为 41.1% 的燃煤机组, 用新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺对排出烟气中的 CO<sub>2</sub> 进行捕集。模拟过程中, 吸收塔以 CO<sub>2</sub> 捕集率为 90% 为约束条件, Aspen Plus 通

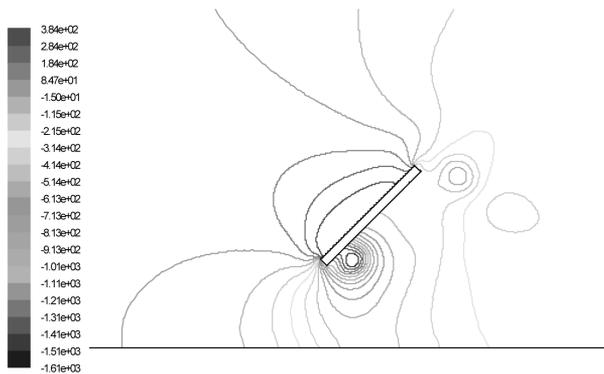


图 2 太阳能镜面风载荷的数值模拟图  
Fig.2 Numerical simulation of solar mirror wind load

过调整进入吸收塔的贫液流量以满足捕集率要求。再生塔通过调整再沸器的热负荷以满足贫液再生温度和压力要求。系统在贫液经过贫富换热器后的液流组分与进入吸收塔的贫液组分一致时系统达到收敛。燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集系统参数见表 1, 燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集系统运行参数见表 2, 基于 Aspen Plus 建立的燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集流程如图 3 所示<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2 操作参数模拟

在 Aspen Plus 模拟计算中, CO<sub>2</sub> 的目标捕集率为 90%, CO<sub>2</sub> 的脱除率是通过改变吸收塔贫液流量达到的。由于贫液负荷降低, 进入吸收塔每摩尔 MEA 所携带的 CO<sub>2</sub> 量随之减少, 相应每摩尔 MEA 可捕集的 CO<sub>2</sub> 量增加。然而, 贫液负荷进一步降低, 会造成再沸器的热负荷提高, 再沸器需要提供更多热量使 CO<sub>2</sub> 从 MEA 溶液分离出来, 造成过量的热量消耗。在实际操作中, 贫液负荷并不能无限制

表 1 燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集系统参数  
Tab.1 Parameters of CO<sub>2</sub> capture system in coal-fired power plant

参数	数值
吸收塔填料段高度 /m	18.6
吸收塔内径 /m	10.4
再生塔填料段高度 /m	8.3
再生塔内径 /m	6.0
CO <sub>2</sub> 捕集率 /%	90

表 2 燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集系统运行参数  
Tab.2 Operating parameters of CO<sub>2</sub> capture system in coal-fired power plant

参数	数值
入吸收塔烟气流量 / (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	55 600
CO <sub>2</sub> 捕集量 / (t·h <sup>-1</sup> )	129
蒸汽消耗 / (GJ·t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> )	3.69
MEA 溶液浓度 /%	30
贫液流量 / (t·h <sup>-1</sup> )	2 935
贫液负荷 (n <sub>CO2</sub> / n <sub>MEA</sub> ) /%	25
富液负荷 (n <sub>CO2</sub> / n <sub>MEA</sub> ) /%	48

表 3 模拟结果汇总表  
Tab.3 Summary of simulation results

流程	再生能耗 / (GJ·h <sup>-1</sup> )	COP	节约热量 /%
传统 MEA 法 CO <sub>2</sub> 捕集工艺	576.94	-	-
新型 MEA 法 CO <sub>2</sub> 捕集工艺	208.87	2.76	63.80

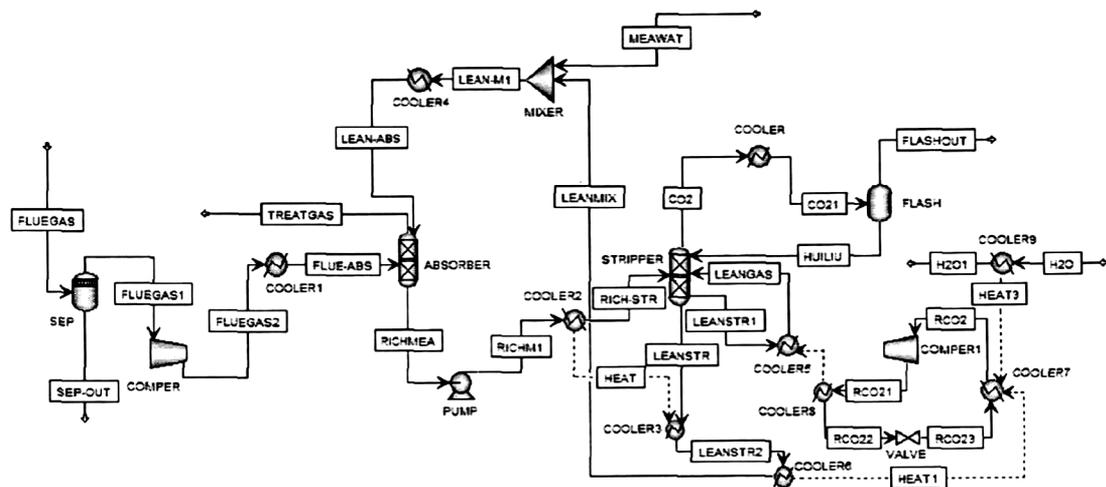


图 3 基于 Aspen Plus 建立的燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集系统模拟图

Fig.3 Simulation of CO<sub>2</sub> capture system for coal-fired power plant based on Aspen Plus

的降低。图 4 所示为贫液负荷与再生塔热负荷之间的关系曲线，贫液负荷与再生塔热负荷之间成凹线关系，说明贫液负荷作为变化的操作参数有一最佳值，在此模型中贫液负荷为 0.26 GJ/t，可以使当前 CO<sub>2</sub> 捕集系统中再生塔热负荷最小，在此模型中为 3.70 GJ/t，即捕集系统的蒸汽消耗量最小。

### 2.3 系统再生能耗分析

对传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺和新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺采用 Aspen Plus 进行模拟，模拟结果见表 3。从表 3 中数据可以看出，相比于传统 MEA 流程中再生供热，新型菲涅尔式太阳能热泵技术和燃煤机组烟气余热回收技术供热再生能耗值最小，可节约 63.80% 的热量。

### 2.4 再生塔内温度模拟分析

根据 Aspen Plus 软件模拟所得数据进行灵敏

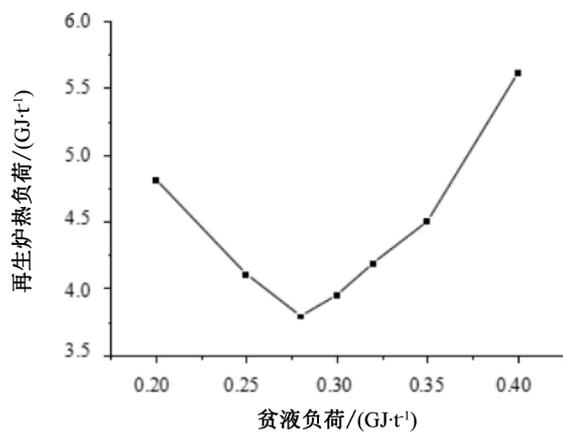


图 4 再沸器热负荷与贫液负荷之间的关系曲线

Fig. 4 Curve between reboiler heat load and lean liquid load

度分析，可得到传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺和新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺两种工艺再生塔内的温度分布情况，分别如图 5 和图 6 所示。由图可知，相对 (

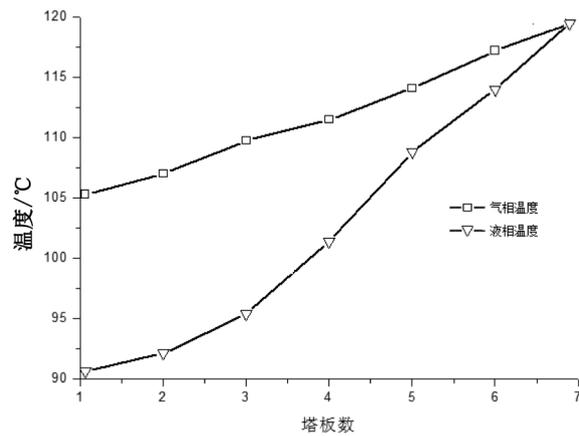


图 5 传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺再生塔内的气象与液相温度分布

Fig. 5 Meteorological and liquid distribution in the traditional MEA CO<sub>2</sub> capture system

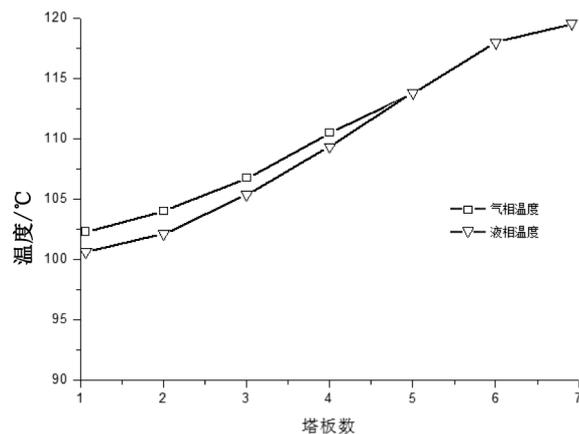


图 6 新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺再生塔内的气象与液相温度分布

Fig. 6 Meteorological and liquid distribution in the new MEA CO<sub>2</sub> capture system

(下转第 63 页)

- 2007, 26(9): 1737-1744.
- [2] 邢万波, 汤雪峰. 大型地下厂房洞室群监测反馈分析与安全评价技术现状及发展趋势 [J]. 水电站设计, 2014(2): 1-6.
- [3] HOJO A, NAKAMURA M, SAKURAI, S.etal, S. Characterization of non-elastic ground behavior of a large underground power house cavern by back analysis. Int J Rock Mech Min Sci, 1997, 34(3-4): 8.e1-8.e8.
- [4] Feng X T, Hudson J A. The ways ahead for rock engineering design methodologies[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2004, 41(2): 255-273.
- [5] 许传华, 任青文, 郑治, 等. 索风营水电站地下洞室岩体力学参数的位移反分析 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28(11): 1981-1985.
- [6] 董志宏, 丁秀丽, 卢波, 等. 大型地下洞室考虑开挖卸荷效应的位移反分析 [J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1562-1568.
- [7] 黄 戡, 刘宝琛, 彭建国, 等. 基于遗传算法和神经网络的隧道围岩位移智能反分析 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(1): 213-219.
- [8] 胡 斌, 冉秀峰, 祝凯, 等. 基于 BP 人工神经网络的隧道围岩力学参数反分析 [J]. 铁道建筑, 2016(7): 70-73.
- [9] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]// MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science. IEEE, 2002: 39-43.
- [10] 聂卫平, 徐卫亚, 王伟. RandWPSO-LSSVM 反演方法及其在大型地下工程中的应用 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(4): 1626-1633.
- [11] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory[M]. New York: Springer-Verlag, 1995: 55-69.
- [12] YONAS B, DIBIKE, SLAVCO Velickov, et al. Model induction with support vector machines: introduction and application[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2001(7): 208-216.
- [13] 石崇, 褚卫江, 郑文棠. 块体离散元数值模拟技术及工程应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 200-219.
- [14] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-55.

(责任编辑 李新)

上接第 53 页) 于传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺供热流程而言, 新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺供热流程再生塔内的温度曲线更为平滑, 表明新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺更有利于 CO<sub>2</sub> 的快速分离。

### 3 结论

1) 相比于传统 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺, 燃煤电厂新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺可节约 63.80% 的热量。

2) 燃煤电厂新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺的再生塔内温度分布更为均匀, 更有利于 CO<sub>2</sub> 再生过程的快速分离, 具有明显的节能效益。

3) 新型 MEA 法 CO<sub>2</sub> 捕集工艺贫液负荷与再沸器热负荷之间成火山口曲线关系, 说明贫液负荷作为变化的操作参数有一最佳值, 在此模型中贫液负荷为 0.26 GJ/t, 可以使当前 CO<sub>2</sub> 捕集系统中再生塔热负荷最小, 在此模型中为 3.70 GJ/t。

### 参考文献:

- [1] 林宗虎. 中国燃煤锅炉节能减排技术近况及展望 [J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(12): 1-5.
- [2] 王立健, 王海涛, 陶向宇, 等. 燃煤机组与燃后碳捕集系统的耦合技术研究 [J]. 华北电力大学学报, 2017, 44(5): 104-110.
- [3] 韩涛, 赵瑞, 张帅, 等. 燃煤电厂二氧化碳捕集技术研究及应用 [J]. 煤炭工程, 2017, 49(5): 24-28.
- [4] 张新军, 徐明海, 唐建峰, 等. MEA-AEP 混合胺液捕集烟气中 CO<sub>2</sub> 实验 [J]. 环境工程, 2018, 36(1): 71-76.
- [5] XU Gang, WU Ying, YANG Yongping, et al. A novel integrated system with power generation, CO<sub>2</sub> capture, and heat supply[J]. Applied Thermal Engineering, 2013(61): 110-120.
- [6] 张丽, 潘振, 张智恩, 等. 一种天然气液化和 CO<sub>2</sub> 捕集相结合的余热回收发电系统 [J]. 化工学报, 2018, 36(1): 1-17.

(责任编辑 李新)