

基于富液循环工艺的碳捕集系统研究

冯永泓¹,李德波²,方立军¹,薛天华²,陈拓²,周杰联²,金凤雏²,朱宇²

(1.华北电力大学动力工程系,河北 保定 071003;2.南方电网电力科技股份有限公司,广东 广州 510080)

摘要:【目的】燃煤电厂碳捕集系统存在能耗高、经济性差的问题,本文旨在研究富液循环工艺对系统吸收率和再生能耗的影响,探索优化碳捕集系统运行的经济性与技术可行性。【方法】采用 Aspen Plus 软件建立基于乙醇胺(Monoethanolamine)溶液的碳捕集系统模型,模拟分析不同循环富液回流位置(吸收塔第15至19块塔板)及不同循环流量(100~190 kg/h,10 kg/h为间隔)对系统吸收率和再生能耗的影响,并与原系统进行对比。【结果】研究发现,循环富液回流位置越靠近吸收塔底部,系统的吸收率越高,再生能耗越低;在靠近塔底的位置(如第18、19块板)采用富液循环工艺,吸收率较原系统最高提升0.049 5%,再生能耗最多降低0.002 69 MJ/kg;循环流量增大在一定条件下有助于进一步优化系统性能。【结论】在靠近吸收塔底部的位置采用富液循环工艺,并适当提高循环流量,可有效提升碳捕集系统的吸收效率并降低再生能耗,具有较好的工程应用潜力。

关键词:醇胺法;MEA;碳捕集;富液循环;燃煤电厂

中图分类号:TK01;TQ426

文章编号:1674-8069(2026)04-0679-08

文献标志码:A

DOI编号:10.19944/j.eptep.1674-8069.2026.04.016

[引用本文格式]冯永泓,李德波,方立军,等.基于富液循环工艺的碳捕集系统研究[J].电力科技与环保,2026,42(4):679-686.

FENG Yonghong, LI Debo, FANG Lijun, et al. Research on optimization of carbon capture system based on rich solvent recycle process[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2026, 42(4):679-686.

Research on optimization of carbon capture system based on rich solvent recycle process

FENG Yonghong¹, LI Debo², FANG Lijun¹, XUE Tianhua², CHEN Tuo², ZHOU Jieliang², JIN Fengchu², ZHU Yu²

(1.College of Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003,Hebei China;2.China Southern Grid Power Technology Co.,Ltd., Guangzhou 510080,Guangdong China)

Abstract: [Objective]To address the high energy consumption and poor economic performance of carbon capture systems in coal-fired power plants, this study aims to investigate the effects of the rich solvent recycle process on the absorption rate and regeneration energy consumption of the system, and to explore the technical and economic feasibility of process optimization. [Methods] A carbon capture system model based on MEA solution was established using Aspen Plus software. The effects of different return positions of the rich solvent (stages 15 to 19 of the absorber) and various recycle flow rates (100-190 kg/h) on the absorption rate and regeneration energy consumption were simulated and analyzed, and the results were compared with the original system. [Results] The results show that the closer the return position of the rich solvent is to the bottom of the absorber, the higher the absorption rate and the lower the regeneration energy consumption. When the rich solvent is returned near the bottom (e.g., stages 18 and 19), the absorption rate increases by up to 0.049 5% and the regeneration energy decreases by up to 0.002 69 MJ/kg compared to the original system. Increasing the recycle flow rate under suitable conditions further enhances system performance. [Conclusion]Implementing the rich solvent recycle process near the bottom of the absorber and appropriately increasing the circulation flow rate can effectively improve the absorption efficiency and reduce regeneration energy consumption, demonstrating promising potential for engineering applications.

收稿日期:2025-08-12 录用日期:2026-03-31

Received: 2025-08-12 Accepted: 2026-03-31

基金项目:广东省能源局能源产业科技创新项目(NWKJ2024L-001)

Key words: alcohol amine method; MEA; carbon capture; rich solvent recycle; coal-fired power plants

0 引言

CO₂气体是造成温室效应的主要原因,大力发展新能源可以有效降低碳排放,然而新能源发电具有初始投资高、间歇性等缺点,因此寻找其它的低碳转型方法非常关键^[1]。中国的CO₂主要排放来自于石油化工^[2]、水泥工业^[3]、造纸行业^[4]以及燃煤电厂等。中国的能源消费在一段时间之内仍然是以火电为主,因此减少燃煤电厂的碳排放非常重要,而一个重要的减碳技术就是碳捕集。

火电厂的脱碳技术可以分为燃烧前脱碳、燃烧中脱碳和燃烧后脱碳技术^[5]。CO₂的燃烧前脱碳技术是在燃料燃烧之前将燃煤转化为CO₂和H₂的混合气,然后通过物理吸收等方法将CO₂分离^[5]。比较常见的一种技术是IGCC技术^[6]。燃烧中捕集包括直接分离技术、富氧燃烧技术等^[7]。应用富氧燃烧技术燃烧后烟气中的CO₂的浓度可以达到95%以上^[5]。燃烧后碳捕集技术包括化学吸收法、物理吸附法、膜分离法和生物固碳法^[5]。化学吸收法是目前应用最多的,该技术核心在于吸收剂的选择。化学吸收法主要分为醇胺类吸收剂^[8]、相变吸收剂^[9]、离子液体吸收剂^[10]和氨水吸收剂^[11]。

能耗过高是制约碳捕集技术大规模应用的主要原因。针对碳捕集系统降低能耗并且提升吸收率的主要2个研究方向,1)针对吸收溶液进行研究,2)对碳捕集系统进行工艺优化研究。

许多学者对醇胺的吸收溶液法进行了研究。陈祖翰等^[12]发现醇胺溶液在CO₂捕集过程中会出现严重的氧化降解问题。杜延年等^[13]发现水和铵盐是导致腐蚀的关键因素。吴琪^[14]发现PZ溶液的最大吸收速率和最大吸收量分别比MEA溶液提高了29%和60%。董野等^[15]发现AMP具有高吸收能力和低再生能耗的特点。张煜等^[16]研究发现MEA和AMP的混合胺溶液混合比为1:4时,吸收的量是MEA溶液的1.4倍。

大量学者针对碳捕集系统进行了相关工艺优化研究。Li等^[17]研究了吸收塔冷却塔级位置和冷却温度对系统能耗的影响,发现在合适的位置能够有效降低系统的能耗。Sanpasertparnich等^[18]的研究发

现采用多级的吸收塔内部冷却工艺能够有效降低热负荷。Xue等^[19]经过模拟计算发现贫液分配流的工艺能有效降低再沸器的负荷。Ilina等^[20]的研究发现两级再热的优化可以有效降低热负荷。Alstom等^[21]发现采用富液冷却循环工艺可以有效降低系统的再生能耗。

国内外诸多学者已围绕碳捕集系统工艺优化进行了研究,其中对富液循环工艺也进行了相关的研究,但鲜有研究深入分析循环位置和循环流量对系统的影响。因此,本文聚焦循环位置和循环流量对系统的影响进行了研究,并且研究进料位置和循环流量可为富液循环工艺实际应用提供技术指导。

1 研究方法

1.1 系统建模

使用Aspen Plus对系统建模如图1所示。烟气从吸收塔的底部进入,与从顶部喷淋而下的吸收液在吸收塔内充分接触进行反应,反应完后的烟气排入到大气中,富液吸收完CO₂后从吸收塔底部流出,进入泵,然后在换热器中和解吸塔塔底流出的贫液发生换热反应,反应完经过另一个换热器进入解吸塔进行解吸反应,并且塔顶液相流出物经过一个分离器。经过换热之后的贫液经过MEA的补充混合后经过换热器进入吸收塔。

1.2 系统涉及的反应及参数

本研究吸收剂选用MEA溶液,系统所涉及的反应如表1所示,其中1~3反应为平衡反应,4~7的反应为动力学反应。动力学反应涉及的动力系数,采用软件中内嵌的MEA溶液碳捕集系统模型中的动力学系数。系统的烟气、吸收溶液、吸收塔、解吸塔及各个换热器的初始参数设置如表2所示。系统的处理规模是72 kg/h的烟气,烟气的组成成分如表3所示。

1.3 模型验证

将模拟计算出的贫液负载、富液负载、CO₂去除率、再生能耗、两股流换热器以及再沸器热负荷的模拟值与实验值进行对比,结果如表4所示。对比结果表明,实验值和模拟值的偏差均在工业允许误差范围内,验证了模型的合理性。

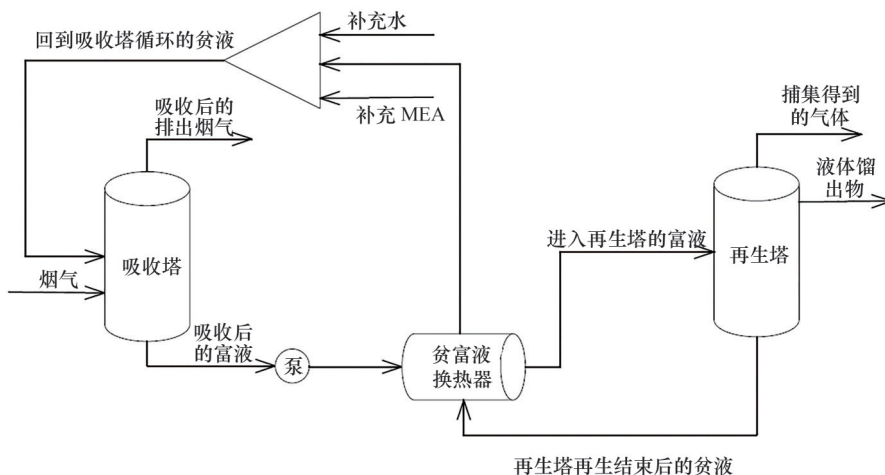


图1 系统模型的建立

Figure 1 Establishment of system model

表 1 系统所涉及的反应

Table 1 Reactions involved in the system

序号	类型	反应
1	平衡	$\text{MEA}^{\text{H}^+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{MEA} + \text{H}_3\text{O}^+$
2	平衡	$2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$
3	平衡	$\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$
4	动力学	$\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^-$
5	动力学	$\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{OH}^- + \text{CO}_2$
6	动力学	$\text{MEA} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MEACOO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$
7	动力学	$\text{MEACOO}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{MEA} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

2 结果与讨论

采用富液循环工艺后的系统如图2所示。计算涉及的两个主要参数为吸收率和再生能耗。其中,吸收率的计算是经过吸收塔减少的 CO_2 量和进入吸收塔的 CO_2 量的比值;再生能耗的计算公式是再沸器热负荷和再生塔塔顶再生出的 CO_2 的量。

2.1 循环富液进塔位置的影响

如图3所示,选取了15、16、17、18、19五个接近吸收塔底部的位置作为循环富液的返回位置。研究不同位置对碳捕集系统的吸收率影响结果如图4所示。由图4可知,随着循环富液量的增大,除了富液循环液返回位置为19块板位置、富液循环量

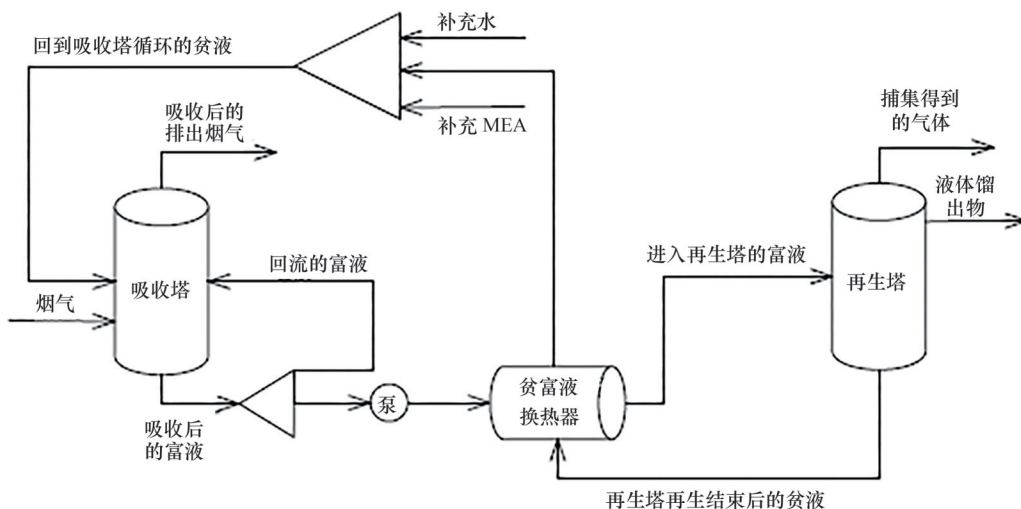


图2 采用富液循环工艺后的系统

Figure 2 System with enrichment rich solvent recycle process

表2 系统初始参数

Table 2 Initial parameters of the system

参数	数值
烟气温度/°C	48.01
烟气压力/hPa	1.004 49
烟气流量/(kg·h ⁻¹)	72
入口贫液温度/°C	40.01
入口贫液压力/hPa	2
入口贫液流量/(kg·h ⁻¹)	201.3
HX1热进口冷出口温差/°C	5.27
HX1冷测出口压力/hPa	2.9
HX2出口压力/hPa	2.9
HX2出口温度/°C	112.85
HX3出口温度/°C	40
HX3出口压力/hPa	2
Pump压力/hPa	2.9
吸收塔塔板数	20
吸收塔塔顶压力/hPa	0.977 08
吸收塔压降/hPa	0.01
解吸塔塔板数	20
解吸塔塔顶压力/hPa	1.999
解吸塔压降/hPa	0.01

表3 初始组成

Table 3 Initial composition

组分	烟气	进口贫液
MEA	0	0.275
H ₂ O	0.071	0.674
CO ₂	0.085	0.051
N ₂	0.743	0
O ₂	0.101	0

表4 模型验证

Table 4 Model validation

参数	实验值	模拟值
LEANIN的CO ₂ 负载/(mol·mol ⁻¹)	0.262	0.254
RICHOIT CO ₂ 负载/(mol·mol ⁻¹)	0.387	0.365
CO ₂ 去除率/%	76.10	72.64
再生能耗/(MJ·kg ⁻¹)	5.01	5.72
两股流换热器/kW	13.52	12.62
再沸器热负荷/kW	6.47	7.05

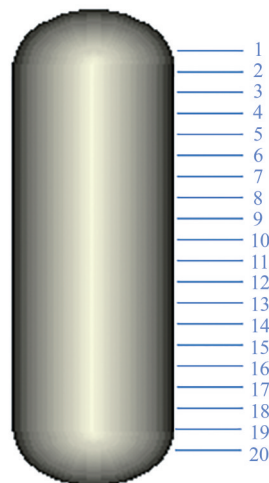


图3 位置选取图示

Figure 3 Location selection diagram

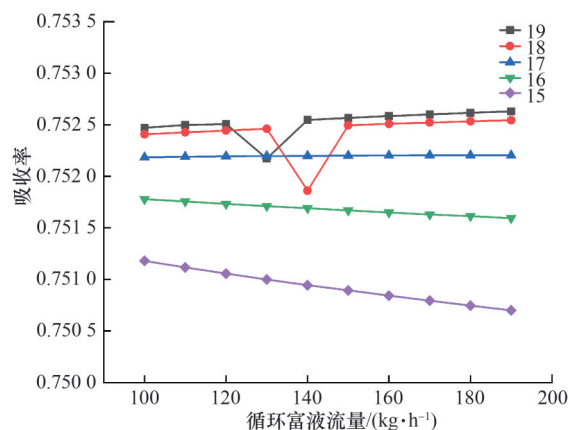


图4 进塔位置和流量对工艺吸收率的影响

Figure 4 The effect of tower position and flow rate on process absorption

为130 kg/h和18块板、富液循环量为140 kg/h的两个工况出现两个转折点外,吸收率是随着循环富液引入位置远离塔底而减小。

理论上,富液循环工艺的设计思路是将吸收塔塔底的富液循环回到吸收塔内,延长气液的接触时间。因此理论上对于相同的循环富液流量,引入的位置越远离吸收塔底部,气液的接触时间越长,吸收效果应该更好^[22]。然而试验结果却与之相反,产生这种现象的原因主要为:富液中的吸收剂的质量分数比较小,引入吸收塔混合后会导致吸收液的浓度变低,从而导致反应速度变慢,反应不完全程度变高,这种负面影响大于增大气液接触时间带来的正向影响,因此吸收率反而会更低,且循环富液越

远离塔底回流,这种影响越严重。除此之外,增大接触时间从而增大吸收效率是理论上想要实现的效果。液膜厚度被认为与雷诺数成正比,而由雷诺数的计算公式可知,雷诺数与流速成正比,因此液膜厚度与流速成正比。又因为面积相同,液膜厚度与质量流量成正比^[23]。实际上富液循环导致流量增大反而吸收液的液膜增厚,从而会降低比表面积,反而会导致气液接触效果恶化,导致吸收效果变差,表现为吸收率的降低,这种的降低也是随着循环富液远离塔底而更严重。

随着富液循环量或回流板位的变化,从“反应受限/传质受限状态”突然切换为“溶液稀释+液膜增厚+局部接近平衡状态”,导致吸收推动力和有效传质面积在该工况点发生跃迁式变化。

由图中可以总结,随着循环富液重新进入吸收塔的位置上移,吸收率呈减小趋势,且靠近塔底的位置会出现一个特殊点。大量高温、高浓度富液被泵回塔板(如第 18 或 19 层),导致该层塔板上的液体主要被循环富液占据。由于液相 CO_2 浓度的骤升,导致该层液相的 CO_2 平衡分压急剧变大。当接近甚至大于上升烟气中 CO_2 的分压时,传质推动力趋近于零,甚至变为负值,导致吸收效率降低。流量继续增大,局部温度的相对下降使得平衡分压回落,因此传质推动力变为正值,吸收率继续增大。

不同的循环富液返回位置对碳捕集系统再生能耗的影响如图 5 所示。由图 5 可知,随着循环富液进入吸收塔位置的上移,再生能耗增大,接近塔底处流入循环富液可以减小再生能耗,同样,接近塔底的循环富液进料位置也存在转折点。

2.2 循环富液流量的影响

选取 100、110、120、130、140、150、160、170、180 及 190 kg/h 共 10 种工况,研究循环富液流量对碳捕集系统的吸收率的影响,结果如图 4 所示。由图 4 可知,对于 15、16 块板进入,随着循环富液的流量的增大,碳捕集系统的吸收率不断降低;对于 17 块板进入位置,随着循环富液的流量的增大,吸收率不断增大;对于 18 和 19 块板的进入位置,随着循环富液的流量的增大,吸收率大体上也呈现出增大的趋势,然而二者都存在一个凹点,分别位于 140 和 130 kg/h 的位置。

对图 4 这种现象进行分析。当 17、18、19 即接

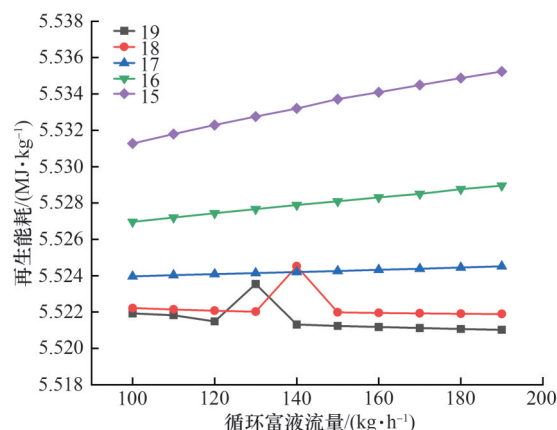


图 5 进塔位置和流量对工艺再生能耗的影响

Figure 5 The influence of tower inlet position and flow rate on process regeneration energy consumption

近吸收塔底部循环富液进入,都出现吸收率增大的趋势,随着循环富液量的增大,查看塔内温度分布和流体的温度,可以发现循环富液温度低于塔内温度,从而实现类似吸收塔内冷却的效果,对吸收率有正向的作用,如前所述,流量越大,液膜越厚。随着流量的增大会造成流动的阻力变大,传质效果变差,从而会导致气液的接触变差,不利于气液之间的反应,从而会对吸收率带来不利的影响。对于 17、18、19 等靠近塔底的位置循环富液回流,流量增大造成液膜的增大,对吸收率的不利影响区间较短,小于温度降低带来的吸收率增高。因此,对于循环富液回流到吸收塔底部的工况下,循环富液流量越大碳捕集系统的吸收率越大。同理,对于 16、17 等更偏离塔底的位置,流量增大造成液膜增厚的长度加长,对碳捕集系统吸收率的不利影响范围更大,大于温度的影响,因此随着循环量的增大,吸收率下降。

循环富液流量对再生能耗的影响也可以从图 4 中得出。由图 4 可以看出,对于碳捕集系统,循环富液接近吸收塔底部回流的工况下,呈现再生能耗出随着循环富液流量增大而降低的趋势,但是会出现一个突变点,和吸收率一样,突变点对应的循环富液的流量值随着循环富液回塔位置的向下移动而向流量减小的方向移动。循环富液的进塔点向远离塔底部偏移,则碳捕集系统的再生能耗呈现增大的趋势。

2.3 采用富液循环工艺和原系统的比较

经过前面的计算,将采用富液循环工艺的各种

工况与原系统的吸收率和再生能耗进行对比,将原始数据和前面计算的各数据放在一起进行对比,得到图6所示结果。从图6可知,在设置的工况下,对于循环富液返回位置在17块板、18块板、19块板,除计算所得特殊点外,采用富液循环工艺都能够有效提升碳捕集系统的吸收率,而返回位置是16和15块板,碳捕集系统的吸收率则小于原始系统的吸收率。对于19块板循环富液回流的工况,除了特殊点,相对于原系统而言,吸收率增幅最小对应的循环富液流量是100 kg/h,此时吸收率相对于原始系统增大0.033 8%;吸收率增幅最大对应的循环流量是190 kg/h,此时吸收率相对于原始系统增大0.049 5%。

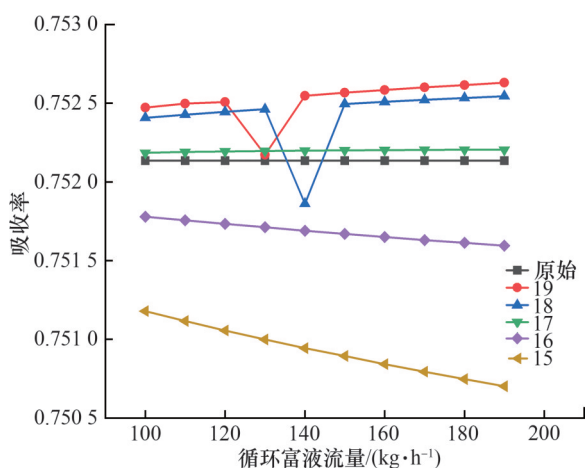


图6 采用富液循环工艺和原系统的吸收率对比

Figure 6 Comparison of the absorption rate of the rich solvent recycle process and the original system

对于18块板循环富液回流的工况,除了特殊点外,相对于原系统吸收率增大程度最小对应的循环富液的流量也为100 kg/h,此时碳捕集系统的吸收率相对于原系统增大0.027 3%;吸收率增幅最大对应的循环富液的流量为190 kg/h,此时的吸收率相比原碳捕集系统增大0.041%。

对于17块板循环富液回流的工况,相对于原系统吸收率增大程度最小对应的循环富液的流量也为100 kg/h,此时碳捕集系统的吸收率相对与原系统增大0.004 96%;吸收率增大程度最大对应的循环富液的流量仍为190 kg/h,此时的吸收率相比原碳捕集系统增大0.006 94%。

将原始系统的再生能耗也和前面的采用富液

循环工艺的再生能耗进行对比,得到处理结果如图7所示。由图7可知,除了特殊点之外,采用富液循环工艺当循环富液回流位置在19、18两块板位置的时候,碳捕集系统的再生能耗是小于原系统的再生能耗的。由前面的分析可知,在18、19两个位置,吸收率大于原系统,从而导致富液中的 CO_2 的含量变高,富液负载升高的时候, CO_2 在气相中的平衡分压升高,所需的水蒸气的分压降低,再沸器提供的蒸汽潜热降低,再生能耗降低。

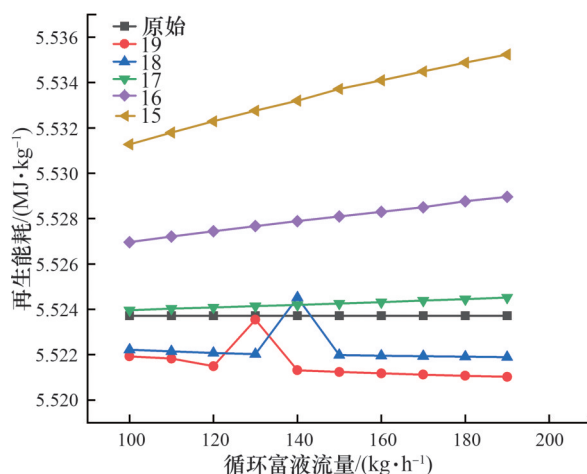


图7 采用富液循环工艺和原系统的再生能耗对比

Figure 7 Comparison of regenerative energy consumption using the rich solvent recycle process and the original system

对于19块板循环富液回流的工况,除了特殊点外,相对于原系统再生能耗减幅最小对应的循环富液的流量为100 kg/h,此时碳捕集系统的再生能耗相对于原系统降低0.001 79 MJ/kg;再生能耗降低幅度最大对应的循环富液的流量是190 kg/h,此时的再生能耗相比原碳捕集系统降低0.002 69 MJ/kg。对于18块板循环富液回流的工况,除了特殊点外,相对于原系统再生能耗减小程度最小对应的循环富液的流量也为100 kg/h,此时碳捕集系统的再生能耗相对于原系统降低0.001 5 MJ/kg;再生能耗增降幅最大对应的循环富液的流量是190 kg/h,此时的再生能耗较原碳捕集系统降低0.001 83 MJ/kg。

因此,在合适的设定工况下采用富液循环能够提高碳捕集系统的吸收率和降低碳捕集系统的再生能耗。富液循环回流位置选择靠近塔底的位置能够达到提高系统的吸收率和降低系统的再生能耗的结

果,且在选择接近塔底富液回流工艺的前提下,适当提高回流的富液的流量对碳捕集系统的吸收率的提升和再生能耗的降低的帮助作用会更明显。

3 结论

本文以富液回流流量、回流进料位置为变量,探究两类参数对富液循环工艺及整套碳捕集系统运行性能的调控规律,主要结论如下。

1)除去特殊工况点外,富液回流进料位置越贴近吸收塔底部,碳捕集系统 CO_2 除效率越高,再生能耗越低。

2)除去特殊工况点外,富液自吸收塔底部附近进料时,随回流流量提升,系统 CO_2 脱除效率上升、再生能耗下降;若富液进料位置远离塔底,随回流流量提升, CO_2 脱除效率下降、再生能耗上升。

3)针对本文研究体系,富液从吸收塔底部进料可对原系统形成正向优化;除去特殊工况点,进料位置越贴近塔底,系统 CO_2 脱除效率提升幅度、再生能耗下降幅度越显著,且回流流量越高,该优化增益越突出。

4)在吸收塔合理区间设置富液回流结构,能够同步提升系统 CO_2 脱除效率、削减再生能耗;综合本研究结果,最优回流进料位置靠近吸收塔底部,在兼顾回流配套能耗的基础上,可适度提高富液回流流量。

参考文献:

- [1] 王思佳,吴凤莹.新能源发电调控及结构优化策略[J].光源与照明,2022(3):186-188.
WANG Sijia, WU Suying. Regulation and structural optimization strategy of new energy power generation[J]. Lamps and Lighting, 2022(3):186-188.
- [2] 戚大伟.油田碳捕集工艺技术研究与分析[J].石油石化节能与计量,2025,15(3):56-61.
QI Dawei. Research and analysis of carbon capture technology in oilfield[J]. Energy Conservation and Measurement in Petroleum & Petrochemical Industry, 2025, 15(3): 56-61.
- [3] 鲁红志,范继承,朱世峰,等.化学吸收法与变压吸附法用于水泥厂 CO_2 捕集的对比分析[J].水泥,2023(12):26-28
LU Hongzhi, FAN Jicheng, ZHU Shifeng, et al. Comparative analysis of CO_2 capture by chemical absorption method and pressure swing adsorption method in cement plant[J]. Cement, 2023(12): 26-28.
- [4] 王化忠,张福全,张云峰.碳中和视角下造纸产业绿色可持续发展研究[J].造纸信息,2025(5):163-164.
WANG Huazhong, ZHANG Fuquan, ZHANG Yunfeng. Research on green and sustainable development of paper industry from the perspective of carbon neutrality[J]. China Paper Newsletter, 2025(5): 163-164.
- [5] 田江南,安源,蒋晶,等.碳中和背景下的脱碳方案[J].分布式能源,2021,6(3):63-69.
TIAN Jiangnan, AN Yuan, JIANG Jing, et al. Technical solutions for decarbonization in context of carbon neutrality[J]. Distributed Energy, 2021, 6(3):63-69.
- [6] OH H T, LEE W S, JU Y, et al. Performance evaluation and carbon assessment of IGCC power plant with coal quality[J]. Energy, 2019, 188:116063.
- [7] 王俊杰,杨华伟,朱治平,等.水泥行业燃烧中碳捕集技术研究及应用进展[J].洁净煤技术,2025,31(4): 37-51.
WANG Junjie, YANG Huawei, ZHU Zhiping, et al. Research and application progress on combustion-based carbon capture technologies in cement industry[J]. Clean Coal Technology, 2025, 31(4): 37-51.
- [8] 贺雪峰,樊灏,沈振兴,等.燃煤电厂烟气 CO_2 捕集化学吸收剂研发进展[J].洁净煤技术,2024,30(11): 82-96.
HE Xuefeng, FAN Hao, SHEN Zhenxing, et al. Development progress of chemical absorbents for carbon dioxide chemical absorption from flue gas of coal-fired power plants[J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(11): 82-96.
- [9] 张履胜,王治红,柳青,等.液-液相变吸收剂捕集二氧化碳研究进展[J].化工学报,2025,76(3): 933-950.
ZHANG Lvsheng, WANG Zhihong, LIU Qing, et al. Research progress in carbon dioxide capture using liquid-liquid phasechange absorbents[J]. CIESC Journal, 2025, 76(3):933-950.
- [10] 冯周.基于离子液体的气体净化工艺研究[D].青岛:青岛科技大学,2024.
FENG Zhou. Research on gas purification process based on ionic liquid [D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2024.
- [11] 赵然磊,马文涛,徐晓,等.二氧化碳捕集化学吸收剂的研究进展[J].精细化工,2023,40(1):1-9.
ZHAO Ranlei, MA Wentao, XU Xiao, et al. Research progress of chemical absorbents for carbon dioxide capture[J]. Fine Chemicals, 2023, 40(1): 1-9.
- [12] 陈祖翰,吴爱琴,罗斌,等.醇胺溶液在烟气 CO_2 捕集过程中氧化降解的研究进展[J].天然气与石油,2025,43(2): 43-48.
CHEN Zuhan, WU Aiqin, LUO Bin, et al. Research progress on oxidative degradation of alcoholamine solution in flue gas CO_2 capture processes[J]. Natural Gas and Oil, 2025, 43(2):43-48.
- [13] 杜延年,杨琰嘉,包振宇,等.醇胺法碳捕集装置腐蚀成因与控制策略[J].炼油技术与工程,2025,55(2):48-51.
DU Yannian, YANG Yanjia, BAO Zhenyu, et al. Corrosion causes and control strategies in alcohol amine carbon capture equipment [J]. Petroleum Refinery Engineering, 2025, 55(2): 48-51.
- [14] 吴琪.混合醇胺溶液对 CO_2 吸收与再生性能试验及其反应动力学研究[D].西安:陕西科技大学,2022.
WU Qi. Study on the absorption and regeneration characteristics

- of CO₂ by the mixed alcohol amines solution and reaction kinetics [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2022.
- [15] 董野, 王婉申, 张思腾, 等. 水泥窑用混合胺二氧化碳吸收剂的实验研究[J]. 水泥工程, 2023(5): 9-13.
DONG Ye, WANG Wanshen, ZHANG Siteng, et al. Experimental study on mixed amine carbon dioxide absorbent used in cement kilns[J]. Cement Engineering, 2023(5): 9-13.
- [16] 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(增刊1): 435-438.
ZHANG Yu, ZHANG Jian, LIU Bingcheng, et al. Experimental comparison of CO₂ absorption performance of flue gas in power plants by mixed alcoholamine/MEA method[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2010, 29(S1): 435-438.
- [17] LI K K, COUSINS A, YU H, et al. Systematic study of aqueous monoethanolamine-based CO₂ capture process: Model development and process improvement[J]. Energy Science & Engineering, 2016, 4(1): 23-39.
- [18] SANPASERTPARNICH T, IDEM R, TONTIWACHWUTHIKUMUL P. CO₂ absorption in an absorber column with a series intercooler circuits[J]. Energy Procedia, 2011, 4: 1676-1682.
- [19] XUE B Y, YU Y M, CHEN J, et al. A comparative study of MEA and DEA for post-combustion CO₂ capture with different process configurations[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2017, 4(1): 15-24.
- [20] ILIMA M, MIMURA T, YAGI Y. System and method for recovering CO₂: EP1759756B1[P]. 2014-11-26.
- [21] ALSTOM T L, DOW G T L. Advanced intercooling and recycling in CO₂ absorption: US8790453[P]. 2014-07-29.
- [22] 林海周, 裴爱国, 方梦祥. 燃煤电厂烟气二氧化碳胺法捕集工艺改进研究进展[J]. 化工进展, 2018, 37(12): 4874-4886.
LIN Haizhou, PEI Aiguo, FANG Mengxiang. Progress of research on process modifications for amine solvent-based post combustion CO₂ capture from coal-fired power plant[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(12): 4874-4886.
- [23] 袁猛. 复杂表面液膜流动统计特性研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012.
YUAN Meng. Study on statistical characteristics of liquid film flows over complex surfaces[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012.



第一作者简介:冯永泓(2001—),男,硕士研究生,主要从事碳捕集系统的优化及经济性分析等方面的研究,904767346@qq.com;



李德波(1983—),男,教授级高级工程师,主要从事煤粉燃烧理论、数值模拟和现场试验,超超临界锅炉调试、试验和技术监督,煤粉燃烧高级数值模拟,大规模并行计算方法和程序开发等方面的研究,ldbyx@126.com;



方立军(1971—),男,副教授,主要从事洁净煤技术和大气污染物控制等方面的研究, Fanglijun2009@163.cn;



薛天华(1999—),女,助理工程师,主要从事火电机组灵活性调节、金属燃料点火燃烧特性等方面的研究, xue.tian.hua@163.com;



陈拓(1987—),男,工程师,主要从事火电锅炉机组节能诊断和运行优化等方面的研究, 530469112@qq.com;



周杰联(1985—),男,高级工程师,主要从事新一代煤电升级技术、火电厂性能提升技术等方面的研究, 381646255@qq.com;



金凤雏(1998—),女,工程师,主要从事燃烧数值模拟及低碳电力等方面的研究, 919486154@qq.com;



朱宇(1990—),男,工程师,主要从事火电机组节能诊断和运行优化等方面的研究, zhuyuncepu@163.com。

(编辑 沈凡卉)