

MDEA脱硫工艺中的吸收与再生性能研究

吴培源 仇士彬 刘 阳 王 新 屈 卫
华能（天津）煤气化发电有限公司 天津 300452

摘 要：本文研究了MDEA脱硫工艺中的吸收与再生性能。通过实验分析，探讨了MDEA溶液对硫化氢的吸收效率及影响因素，如温度、压力、溶液浓度等。同时，研究了再生过程中硫化氢的解吸机理及再生效率的优化方法。结果表明，MDEA溶液具有良好的选择性和吸收能力，再生性能稳定。通过优化操作条件，可进一步提高脱硫效率和再生效率，为MDEA脱硫工艺的工业应用提供理论支持。

关键词：MDEA脱硫工艺；吸收；再生性能

1 MDEA 脱硫工艺概述

1.1 MDEA的基本性质

MDEA，全称N-甲基二乙醇胺，是一种无色粘稠液体，具有类似氨的气味，呈碱性。它能溶于水、乙醇和丙酮，具有优异的吸收性能，能有效吸收空气中的二氧化碳和硫化氢。MDEA的化学性质稳定，对碳钢基本不腐蚀，这使得它在工业应用中具有广泛的前景。MDEA的闪点较高，但在剧烈受热后会形成爆炸性混合物，因此在操作时需要特别注意安全。

1.2 MDEA脱硫工艺原理

MDEA脱硫工艺主要基于化学吸收原理。在脱硫过程中，MDEA作为碱性吸收剂，与含有硫化氢（ H_2S ）的酸性气体发生反应。MDEA分子结构中的氮原子有一对孤对电子，这使得它能够与硫化氢分子中的氢原子（带有部分正电荷）相互作用，形成稳定的胺盐（如 $\text{R}_2\text{NCH}_3\text{H}^+$ ）和硫氢根离子（ HS^- ）。这个反应是可逆的，在吸收阶段，反应向右进行，使得硫化氢被MDEA溶液吸收；而在再生阶段，通过加热或减压等方式，反应逆向进行，胺盐分解，重新释放出硫化氢气体，MDEA溶液则得到再生，可以循环使用^[1]。具体来说，在MDEA脱硫工艺中，含有硫化氢的原料气从吸收塔底部进入，与从塔顶喷淋而下的MDEA溶液逆向接触。在吸收塔内，MDEA溶液与硫化氢发生化学反应，将其从原料气中吸收下来。随着反应的进行，MDEA溶液逐渐饱和，形成富液。富液随后从吸收塔底部流出，进入再生塔进行再生。在再生塔内，通过加热使胺盐分解，硫化氢气体从溶液中解吸出来，经过冷却、分离等后续处理后，可以得到高纯度的硫化氢产品。而再生后的MDEA溶液则通过循环泵重新输送至吸收塔顶部，继续进行脱硫循环操作。整个过程需要严格控制溶液的流量、温度、压力等参数，以确保脱硫效果达到最佳状态。

2 MDEA 的吸收性能研究

2.1 吸收机理分析

MDEA（N-甲基二乙醇胺）作为一种高效的脱硫吸收剂，其吸收机理主要基于化学吸收原理。MDEA分子结构中的氮原子具有一对孤对电子，这使得它能够与酸性气体如硫化氢（ H_2S ）发生化学反应。具体来说，当含有硫化氢的气体与MDEA溶液接触时，硫化氢分子中的氢原子带有部分正电荷，会与MDEA分子中氮原子上的孤对电子相互作用，形成稳定的胺盐（如 $\text{R}_2\text{NCH}_3\text{H}^+$ ）和硫氢根离子（ HS^- ）。这个反应过程是可逆的，在吸收阶段，反应向右进行，硫化氢被MDEA溶液吸收；而在再生阶段，通过加热或减压等方式，反应逆向进行，胺盐分解，硫化氢气体从溶液中解吸出来，MDEA溶液则恢复活性，可以循环使用。MDEA对硫化氢的吸收不仅限于简单的酸碱中和反应，还涉及到复杂的物理和化学过程。在吸收过程中，MDEA溶液中的分子通过扩散作用与硫化氢分子接触，并在界面上发生化学反应，MDEA溶液还具有一定的物理溶解能力，能够溶解一定量的硫化氢气体。这种物理溶解和化学吸收的共同作用，使得MDEA对硫化氢的吸收效率远高于其他传统的脱硫吸收剂。MDEA溶液的吸收性能还受到多种因素的影响，如溶液浓度、温度、压力、气体流速以及溶液中的杂质等。其中，溶液浓度是影响吸收性能的关键因素之一。一般来说，MDEA溶液的浓度越高，其吸收能力越强。但是，过高的浓度也会增加溶液的粘度和能耗，因此需要在实际应用中综合考虑各种因素，选择最优的浓度范围。

2.2 吸收效率实验

为了验证MDEA的吸收性能，科学家们进行了一系列吸收效率实验。在实验过程中，科学家们采用了多种方法来测量吸收效率，如化学分析法、色谱分析法、红外光谱法等。这些方法能够准确地测量出原料气中硫化

氢的浓度以及吸收后尾气中硫化氢的浓度,从而计算出MDEA溶液的吸收效率。实验结果表明,MDEA溶液对硫化氢的吸收效率非常高,通常可以达到90%以上。而且,随着MDEA溶液浓度的增加,吸收效率也会相应提高。温度和压力等条件对吸收效率也有显著影响^[2]。一般来说,适当的升高温度和压力有助于提高吸收效率,但过高的温度和压力也会增加能耗和设备成本。除了对硫化氢的吸收效率外,科学家们还研究了MDEA溶液对其他酸性气体如二氧化碳(CO₂)的吸收性能。实验结果表明,MDEA溶液对二氧化碳的吸收效率也较高,但相对于硫化氢来说略低一些。这主要是由于MDEA对硫化氢的选择性吸收能力更强所致。

2.3 吸收性能优化

为了提高MDEA溶液的吸收性能,科学家们进行了大量的优化研究。在改进吸收剂配方方面,科学家们尝试向MDEA溶液中加入各种活性剂或添加剂,以提高其对硫化氢的吸收速率和吸收容量。还可以通过调整吸收剂的pH值、粘度等物理性质来优化其吸收性能。在优化操作条件方面,科学家们主要关注溶液浓度、温度、压力以及气体流速等参数的控制。通过调整这些参数,可以在保证吸收效率的同时降低能耗和设备成本。在开发新型吸收设备方面,科学家们致力于研发更高效、更节能的吸收设备。例如,采用膜分离技术或超重力技术等新型分离技术可以显著提高吸收效率和设备处理能力;而采用自动化控制系统和智能监测技术则可以实现对吸收过程的精确控制和优化运行。

3 MDEA的再生性能研究

3.1 再生机理分析

再生过程主要是指将吸收了硫化氢(H₂S)等酸性气体的MDEA富液,通过一定的手段使其恢复吸收能力,从而循环使用。再生机理主要基于化学反应的可逆性。在吸收阶段,MDEA与硫化氢发生化学反应,形成稳定的胺盐和硫氢根离子。这一反应在再生阶段需要逆向进行,即胺盐需要分解,释放出硫化氢气体,同时MDEA恢复其原始的化学结构。再生过程通常通过加热富液来实现,提高温度有助于打破化学键,促使反应逆向进行。减压也是一种有效的再生手段,降低压力可以降低反应体系的总能量,从而有利于逆向反应的进行。再生机理还涉及到MDEA溶液的物理性质变化,在加热过程中,溶液的温度升高,分子的热运动加剧,有助于硫化氢气体的解吸。减压操作可以降低溶液表面的蒸汽压,使得硫化氢更容易从溶液中逸出。这些物理变化与化学反应的逆向进行相互协同,共同实现了MDEA的再生。

除了温度和压力外,再生过程还受到其他因素的影响,如再生时间、富液浓度、再生设备的设计等。再生时间越长,理论上再生效率越高,但也会增加能耗和设备磨损。富液浓度过高可能导致再生困难,因为高浓度的溶液在加热时更容易发生局部过热和结焦。因此在实际应用中需要综合考虑各种因素,选择最优的再生条件。

3.2 再生效率实验

为了评估MDEA的再生性能,科学家们进行了一系列再生效率实验。在实验过程中,首先需要将吸收了硫化氢的MDEA富液送入再生设备中。然后,通过加热或减压等手段对富液进行处理,使其发生逆向化学反应,释放出硫化氢气体。再生后的MDEA溶液(即贫液)随后被送回吸收塔中,继续用于吸收硫化氢。为了准确测量再生效率,科学家们采用了多种分析方法^[3]。其中,气相色谱法是一种常用的方法,它可以准确测量再生气体中硫化氢的浓度。通过比较再生前后硫化氢的浓度变化,可以计算出再生效率。还可以通过测量再生过程中消耗的能量、再生设备的运行状况等指标来评估再生性能。实验结果表明,再生温度和压力对再生效率有显著影响。一般来说,提高再生温度或降低再生压力有助于提高再生效率。但是,过高的温度或过低的压力也会带来一些问题,如设备腐蚀、能耗增加等。在实际应用中需要选择适当的再生条件,以平衡再生效率和能耗之间的关系。

3.3 再生性能优化

为了提高MDEA的再生性能,科学家们进行了大量的优化研究。在改进再生设备方面,科学家们致力于研发更高效、更节能的再生设备。还可以通过优化设备的结构设计和材料选择来提高其耐腐蚀性和使用寿命。在优化再生条件方面,科学家们通过实验研究了不同温度、压力、再生时间等条件对再生效率的影响。通过调整这些条件,可以找到最优的再生参数组合,以提高再生效率并降低能耗。在开发新型再生技术方面,科学家们正在探索一些创新的再生方法。例如,利用超声波或微波等物理手段来辅助再生过程,可以提高再生速率和效率;开发新型的吸收-再生耦合技术,可以实现吸收和再生的同时进行,从而提高整个脱硫工艺的效率。

4 MDEA脱硫工艺中的节能途径探讨

4.1 节能现状分析

在天然气脱硫工艺中,MDEA(N-甲基二乙醇胺)作为一种高效的选择性脱硫剂,因其良好的吸收性能和再生性能而被广泛应用。随着能源需求的不断增长和环保要求的日益严格,MDEA脱硫工艺的能耗问题逐渐凸

显。目前，MDEA脱硫工艺的能耗主要集中在吸收塔和再生塔的操作过程中，尤其是再生塔的再沸器能耗占比比较大。过程中物流能量的未充分利用也是导致能耗偏高的重要原因。在吸收塔中，为了保持较高的吸收效率，需要维持一定的溶液循环量和温度，这会导致能耗的增加。吸收过程中释放的热量往往未能得到有效回收，进一步加剧了能耗问题。在再生塔中，再沸器通过加热富液使其中的硫化氢解吸出来，这一过程需要消耗大量的热能。而且，再生过程中产生的蒸汽潜热也未能得到充分利用，造成了能源的浪费。MDEA脱硫工艺中的设备效率、操作参数设置以及系统流程设计等因素也会对能耗产生影响。

4.2 节能方案设计

针对MDEA脱硫工艺的能耗问题，可以从多个方面入手进行节能方案设计。以下是一些主要的节能途径：

（1）回收再生塔顶蒸汽潜热：再生塔顶产生的蒸汽含有大量的潜热，可以通过设置热泵系统来回收这部分热量，并用于预热再生塔的进料或加热其他需要加热的介质，从而减少再沸器的热负荷，降低能耗。（2）优化吸收塔和再生塔的操作参数：通过调整吸收塔和再生塔的操作参数，如溶液循环量、温度、压力等，可以在保证脱硫效率的前提下降低能耗。（3）改进设备设计：采用高效节能的设备，如高效换热器、低能耗泵等，可以提高设备的热交换效率和运行效率，从而降低能耗。同时对设备进行定期维护和保养，确保其处于良好的运行状态，也是降低能耗的有效措施^[4]。（4）优化系统流程：通过优化系统流程，减少不必要的能耗环节，如减少溶液的循环次数、优化管道布局等，可以降低整个系统的能耗。另外，还可以考虑将MDEA脱硫工艺与其他工艺进行集成，实现能量的梯级利用，进一步提高能源利用效率。

4.3 节能效果评估

为了评估节能方案的效果，需要对实施节能措施前后的能耗进行对比分析。评估指标可以包括能耗降低

率、经济效益、环境效益等。首先，通过测量实施节能措施前后的能耗数据，可以计算出能耗降低率。能耗降低率越高，说明节能效果越好。还需要考虑节能措施的投资成本和回收周期。如果节能措施的投资成本较高，但能够在较短时间内通过能耗降低带来的经济效益进行回收，那么这种节能措施就是可行的。除了经济效益外，节能措施还可以带来显著的环境效益，通过降低能耗，可以减少温室气体的排放，缓解全球气候变暖问题。节能措施的实施还有助于提高资源的利用效率，促进可持续发展。在实际应用中，还需要对节能方案进行持续优化和改进。通过不断监测和分析能耗数据，及时调整节能措施的实施策略，以确保节能效果的最大化，还可以借鉴其他行业的节能经验和先进技术，不断创新和完善MDEA脱硫工艺的节能方案。

结束语

本研究对MDEA脱硫工艺中的吸收与再生性能进行深入探讨，取得了一定的研究成果。通过优化操作条件，有效提高脱硫效率和再生效率，为工艺的节能降耗提供新思路。未来将继续深入研究MDEA脱硫工艺的机理和优化方法，为天然气脱硫技术的进一步发展贡献力量。

参考文献

- [1]杨仁杰,陈小榆,蒋洪,等.MDEA脱硫脱碳选择性研究[J].天然气化工,2018,43(4):62-68.DOI:10.3969/j.issn.1001-9219.2018.04.013.
- [2]张霖,黄海宇,张理.MDEA脱硫溶液近红外光谱法在线分析技术研究[J].石油与天然气化工,2023,52(2):123-127,132.DOI:10.3969/j.issn.1007-3426.2023.02.020.
- [3]李恩田,胡永生,石利新,等.减压膜蒸馏法处理MDEA脱硫液的试验研究[J].常州大学学报(自然科学版),2020,32(2):60-67.DOI:10.3969/j.issn.2095-0411.2020.02.008.
- [4]潘国强,李晓曼.MDEA脱硫液废水好氧处理工艺优化研究[J].水科学与工程技术,2023(2):4-6.DOI:10.19733/j.cnki.1672-9900.2023.02.02.