

低温甲醇洗工艺中甲醇再生过程的能耗分析与节能策略

马丽

国能新疆化工有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

DOI: 10.61369/ETQM.12243

摘 要： 低温甲醇洗工艺在合成氨、甲醇等领域应用广泛，其中甲醇再生过程对工艺稳定运行至关重要，但其能耗问题突出。本文深入剖析甲醇再生过程，明确减压闪蒸、气提再生和热再生等方式的能耗来源，探究原料气组成、操作温度和压力等因素对能耗的影响。进而针对性提出优化再生工艺流程、强化热量回收利用、精准调整操作参数以及升级维护设备等节能策略，旨在降低能耗，提高工艺经济性与竞争力，推动相关行业可持续发展。

关 键 词： 低温甲醇洗；甲醇再生；能耗分析；节能策略

Energy Consumption Analysis and Energy Saving Strategies for Methanol Regeneration Process in Low-Temperature Methanol Washing Technology

Ma Li

Guoneng Xinjiang Chemical Co., Ltd. Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract: The low-temperature methanol washing technology is widely used in fields such as ammonia synthesis and methanol production, where the methanol regeneration process is crucial for stable operation but faces significant energy consumption issues. This article delves into the methanol regeneration process, identifying energy consumption sources in methods such as vacuum flash evaporation, stripping regeneration, and thermal regeneration. It explores the influence of factors like feed gas composition, operating temperature, and pressure on energy consumption. Furthermore, it proposes targeted energy-saving strategies, including optimizing the regeneration process flow, enhancing heat recovery and utilization, precisely adjusting operating parameters, and upgrading and maintaining equipment. These strategies aim to reduce energy consumption, improve process economics and competitiveness, and promote sustainable development in related industries.

Keywords: low-temperature methanol washing; methanol regeneration; energy consumption analysis; energy saving strategies

低温甲醇洗工艺作为一种高效的气体净化技术，在合成氨、合成甲醇以及其他羰基合成等领域得到了广泛应用。该工艺利用甲醇在低温下对酸性气体（如 CO_2 、 H_2S 、 COS 等）溶解度极大的特性，实现原料气中酸性气体的脱除。在整个低温甲醇洗工艺中，甲醇再生过程是保证工艺持续稳定运行的关键环节，然而，其能耗问题一直是制约该工艺进一步发展和应用的重要因素。深入分析甲醇再生过程的能耗构成，并提出有效的节能策略，对于提高低温甲醇洗工艺的经济性和竞争力具有重要意义。

一、低温甲醇洗工艺原理及流程简述

在化工生产领域，低温甲醇洗工艺是气体净化的重要手段。了解其工艺原理和流程，对深入研究甲醇再生过程的能耗与节能策略意义重大。该工艺基于特定的物理吸收原理运作，且涉及多个设备协同工作的复杂流程。以下将详细阐述低温甲醇洗工艺的原理及流程，为后续分析奠定基础。

（一）工艺原理

此技术主要在20世纪50年代在国外被研发和开始应用，并且主要在煤加压机化后的粗煤气中应用并起到净化的作用，也应用于对城市煤气的净化等。随后随着大型合成氨厂的出现也主要应

用于对渣油以及煤等重碳质燃料进行气化时的净化中^[1]。低温甲醇洗工艺是典型的物理吸收过程。在低温条件下，甲醇对酸性气体具有良好的吸收能力。例如，当温度从20℃降至-40℃时， CO_2 的溶解度约增加6倍，而 H_2 、 CO 及 CH_4 等的溶解度在温度降低时变化较小。不同杂质在甲醇中的溶解度差异很大，依据溶质溶解曲线特性，可选择性地脱除 H_2S 和 CO_2 ，实现含硫成分的吸收和 CO_2 的吸收分开进行。

（二）工艺流程

低温甲醇洗工艺流程主要由原料气冷却器、吸收塔、 CO_2 闪蒸塔、 H_2S 闪蒸塔、再吸收塔、再生塔、甲醇水塔和尾气洗涤塔等设备协同构成。

其中，吸收塔作为关键设备，通常从下至上依次分为预洗段、H₂S吸收段、CO₂吸收段。预洗段可初步去除原料气中的杂质，为后续的吸收过程做准备；H₂S吸收段能够高效脱除原料气中的H₂S，减少酸性气体对后续工艺的影响；CO₂吸收段则负责将剩余的CO₂吸收，以满足净化要求^[4]。

CO₂闪蒸塔从上至下分为四段，分别是CO₂尾气闪蒸段，主洗甲醇闪蒸段，中压闪蒸段、次中压闪蒸段。通过不同压力阶段的闪蒸操作，逐步释放出溶解在甲醇中的CO₂，实现CO₂的回收和甲醇的初步再生。

H₂S闪蒸塔根据压力变化分为两段闪蒸，下部第二段压力最高，压力自上而下逐渐升高^[5]。这种设计有助于在不同压力条件下，更有效地解吸H₂S，提高H₂S的回收效率。

整个工艺过程需要低温冷量，部分通过贫溶剂的闪蒸获得，制冷机组则起到辅助平衡冷量的作用。制冷机中的冷冻剂一般采用丙烯或液氨，它们在制冷循环中发挥关键作用，为工艺提供稳定的低温环境，确保各设备能够在适宜的温度条件下运行，保障低温甲醇洗工艺的高效性和稳定性。

二、甲醇再生过程能耗分析

甲醇再生过程的能耗在低温甲醇洗工艺中占据重要比重，直接关系到整个工艺的经济性与能源利用效率。深入剖析这一过程的能耗情况，对后续制定节能策略至关重要。下面将从甲醇再生方式及能耗来源、影响能耗的因素这两个方面展开分析，探究能耗产生的内在机制和外在影响条件。

（一）甲醇再生方式及能耗来源

甲醇再生主要依靠减压闪蒸、气提再生和热再生这几种方式。减压闪蒸是基于压力降低时，溶解在甲醇中的气体溶解度下降从而逸出的原理。在这个过程中，压力的骤然降低会引发节流效应，导致液体气化^[4]。而液体气化需要吸收热量，这就使得溶液温度降低。比如在实际操作中，当压力从较高值迅速降低时，能明显观察到溶液温度的下降。

气体再生则是借助惰性气体，比如氮气等来实现的。将氮气通入甲醇溶液中，能够促使酸性气体从溶液中解吸出来。这是因为氮气的存在改变了气相中酸性气体的分压，使得酸性气体更容易从液相转移到气相。

热再生是通过蒸汽对溶液进行加热，使甲醇沸腾。沸腾产生的甲醇蒸汽起到气提作用，能够实现酸性气体的彻底解吸^[5]。在这几种再生方式里，热再生消耗的能量最多，是主要的能耗来源。因为蒸汽加热溶液时，不仅要提升溶液的温度，还需要克服溶液的汽化潜热。除此之外，气提再生过程中，气提气体的输送需要动力，而且为保证气提效果，还会涉及一些辅助操作，这些都会消耗一定的能量。减压闪蒸虽然自身消耗的能量相对较少，但是在整个甲醇再生系统中，它与其他再生方式相互配合时，会对整体的能量平衡产生影响，不可忽视。

（二）影响甲醇再生能耗的因素

原料气中酸性气体的含量和种类对甲醇再生能耗有显著影

响。若原料气中H₂S、CO₂等酸性气体含量较高，为达到相同的净化效果，需要更多的甲醇参与吸收，这就导致富甲醇溶液中酸性气体负荷增大，在再生过程中需要消耗更多的能量来解吸这些酸性气体。例如，当原料气中CO₂含量增加10%时，再生过程中蒸汽的消耗量可能会增加15%~20%。

操作温度和压力对甲醇再生能耗起着关键作用。在热再生过程中，提高再生温度可以加快酸性气体的解吸速率，但同时也会增加蒸汽的消耗。而在减压闪蒸和气体再生过程中，压力的变化会影响气体的解吸程度和能耗。若减压闪蒸的压力设置过低，虽然有利于酸性气体的解吸，但可能会导致过多的甲醇气化，增加后续处理的能耗；气提再生时，气提压力过高或过低都会影响气提效果和能耗。甲醇循环量的大小直接关系到再生能耗^[6]。如果甲醇循环量过大，不仅会增加输送甲醇所需的动力能耗，还会使再生过程中需要处理的富甲醇溶液量增多，从而导致再生能耗上升。相反，若甲醇循环量过小，可能无法满足对原料气中酸性气体的吸收需求，影响净化效果。

设备的传热效率、塔板效率以及工艺流程的合理性等都会影响甲醇再生能耗。例如，再生塔的塔板效率低下，会导致气液传质效果不佳，使得酸性气体解吸不充分，需要更多的能量进行二次再生。而高效的换热器可以更好地回收利用热量，降低再生过程中的能量损失。若工艺流程设计不合理，各再生阶段的衔接不顺畅，也会增加不必要的能耗。

三、甲醇再生过程节能策略

针对低温甲醇洗工艺中甲醇再生过程能耗较高的问题，探寻有效的节能策略迫在眉睫。这不仅有助于降低生产成本，还能提高资源利用效率，增强工艺的可持续性。接下来将从优化再生工艺流程、热量回收与利用、调整操作参数以及设备升级与维护等方面，详细阐述一系列切实可行的节能策略，为实现节能目标提供有力支撑。

（一）优化再生工艺流程

在低温甲醇洗工艺的甲醇再生过程中，多段再生工艺展现出显著的节能优势。它依据酸性气体解吸的难易程度，分阶段实施再生操作。开始时利用减压闪蒸，能够脱除大部分易于解吸的酸性气体。这是因为压力降低时，气体溶解度下降，大量酸性气体迅速逸出^[7]。接着进行气提再生，借助惰性气体促使剩余酸性气体进一步解吸，有效降低甲醇溶液中的酸性气体含量。最后通过热再生，实现甲醇的深度再生，彻底去除残留的酸性气体。这种方式充分发挥了不同再生方式的长处，避免单一方式过度耗能。研究数据显示，与传统单段再生工艺相比，采用多段再生工艺可降低能耗15%~20%。

优化闪蒸流程也是节能的重要途径，分级闪蒸是其中的有效方法。在不同压力等级下依次闪蒸，能让酸性气体逐步解吸，提高解吸效率，还能减少甲醇的汽化损失。以CO₂闪蒸塔为例，采用三级闪蒸比二级闪蒸，可使CO₂回收率提高5%~8%，同时降低闪蒸能耗。而且，闪蒸产生的闪蒸气含有一定量的甲醇，将其

引入再吸收塔，能够回收甲醇，避免直接排放造成的能量浪费，进一步提升了能源利用率。

（二）热量回收与利用

在低温甲醇洗工艺中，不同物流间显著的温度差异，为热量回收利用提供了良好基础。合理设置换热器是实现这一目标的关键手段。以热再生塔为例，塔顶高温气体携带大量热量，将其与进入再生塔的冷富甲醇溶液进行换热，能使冷富甲醇溶液得到余热^[9]。热传递遵循能量守恒定律，高温气体的热量自发地传递给冷富甲醇溶液。通过这种方式，热再生过程中需要额外补充的蒸汽量得以减少。而且，科学地优化换热器选型和布置，能进一步提升热量回收效果。研究数据表明，经过合理优化后，热再生过程中的蒸汽消耗可降低20%~30%，这有效节约了能源，降低了生产成本。

此外，热泵技术在甲醇再生过程的节能方面表现卓越。闪蒸过程会产生大量低温热量，热泵可将这些低温热量收集起来，并通过压缩等方式提升其温度，使其能够满足工艺中的加热需求，例如为再生塔的再沸器提供热量。采用热泵技术后，蒸汽消耗可减少30%~40%。这不仅显著降低了整个甲醇再生过程的能耗，还提升了能源利用效率，为低温甲醇新工艺的可持续发展提供了有力支持。

（三）调整操作参数

在低温甲醇洗工艺的甲醇再生环节，精确调控操作参数是实现节能的关键所在。借助先进的工艺模拟软件以及实际运行时的严密监测，能够精准确定最佳的操作温度和压力。在保障甲醇再生效果的基础上，合理降低热再生温度，可显著减少蒸汽消耗。有实际项目数据显示，将热再生温度从120℃下调至110℃，蒸汽消耗会随之降低10%~15%。这是因为热再生温度降低，减少了为提升溶液温度和克服汽化潜热所需的能量。同时，优化减压闪蒸和气提再生的压力设置也至关重要，经过科学调整，在确保酸性气体充分解吸的同时，还能降低能耗，避免因压力不当造成的能源浪费。

另外，原料气的组成和处理量处于动态变化中，这就要求实时调整甲醇循环量。在系统中安装流量调节装置，可实现对甲醇循环量的精准控制，防止因循环量不合理而增加能耗^[9]。当原料气中酸性气体含量降低时，相应减少甲醇循环量，这样做一方面能避免输送过多甲醇造成的动力能耗增加，另一方面也能确保吸收效果不受影响，经实践验证，可使动力能耗降低10%~15%，有效达成节能与保证工艺效果的双重目标。

（四）设备升级与维护

在低温甲醇洗工艺的甲醇再生环节，设备性能对能耗有着重要影响，采用高效的塔板和填料是降低能耗的关键举措。比如新型规整填料，其结构设计合理，能有效增加气液接触面积，相比传统散装填料，可使塔板效率提高20%~30%。这意味着酸性气体能够更充分地从甲醇溶液中吸解出来，减少了酸性气体在甲醇溶液中的残留，进而降低了再生过程中的能耗^[10]。同时，高效换热器的选用也十分关键，它能极大提高传热效率，有效减少热量传递过程中的损失，进一步优化再生工艺的能耗表现。

此外，定期的设备维护保养同样不可或缺。定期清洗换热器的换热表面，可防止污垢堆积影响传热效果；对再生塔的塔板和填料进行检查，及时修复损坏部分，能保证气液传质的高效进行。据相关数据显示，通过良好的设备维护，可使设备能耗降低5%~10%，对整个工艺的节能起到重要作用。

四、结束语

甲醇再生过程在低温甲醇洗工艺中能耗占比较大，是制约工艺整体能效的关键环节。深入剖析其能耗来源，包括热再生消耗的大量蒸汽、气体再生的动力能耗等，以及原料气组成、操作条件和设备性能等因素，为节能策略的制定提供了重要依据。基于此提出的优化再生工艺流程、热量回收与利用、调整操作参数以及设备升级与维护等节能策略，具有显著的节能效果。这些策略不仅能降低生产成本，提高低温甲醇洗工艺的经济性，还能减少能源消耗，助力工业生产的绿色转型。在实际应用中，由于不同企业的工艺条件和需求各异，应因地制宜地综合运用多种节能策略，充分发挥其协同效应，实现最佳节能效果，推动相关行业可持续发展。

参考文献

- [1] 郑攀文. 低温甲醇洗工艺技术的最新研究进展 [J]. 辽宁化工, 2020, 49(02): 217-219. DOI: 10.14029/j.cnki.issn1004-0935.2020.02.031.
- [2] 解寅璇. 基于某厂低温甲醇洗工艺装置模拟与优化改进方案研究 [D]. 西北大学, 2020. DOI: 10.27405/d.cnki.gxbdu.2020.001601.
- [3] 赵一山. CO₂产品气加压改造的低温甲醇洗工艺研究 [D]. 大连理工大学, 2018.
- [4] 崔倩. 低温甲醇洗工艺的模拟与扩产改造方案研究 [D]. 大连理工大学, 2016.
- [5] 齐峰. 低压不含硫原料气的低温甲醇洗工艺研究 [D]. 大连理工大学, 2015.
- [6] 王亚亚. 低温甲醇洗工艺流程模拟与优化 [D]. 西安石油大学, 2014.
- [7] 仇登可. 低温甲醇洗有机硫脱除工艺技术改造 [J]. 大氮肥, 2021, 44(06): 384-387+398.
- [8] 冯玉芳. 低温甲醇工艺洗预洗甲醇增加过滤器技术方案研究 [J]. 山西化工, 2022, 42(04): 70-71+74. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2022.04.029.
- [9] 何鹏. 超大规模低温甲醇洗工艺对比和生产常见问题分析 [J]. 煤化工, 2024, 52(02): 30-33+37. DOI: 10.19889/j.cnki.10059598.2024.02.007.
- [10] 薛皓中. 低温甲醇洗工艺系统设计要点 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2024, (08): 82-88. DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2024.08.020.