

# 低温甲醇洗工艺中甲醇损耗高的成因与控制方法

马 骁

河南开祥精细化工有限公司 河南 三门峡 472300

**【摘要】**：低温甲醇洗工艺是气体净化领域的关键技术，其运行过程中存在显著的溶剂甲醇损耗问题，直接关系到装置的经济效益与环保合规性。研究表明，损耗主要源于气相物流夹带、液相废水排放、操作参数偏离与设备性能缺陷等四个方面。为实现降耗目标，需从精细化操作调控、高效分离设备改造、多级回收系统建立、设备完整性管理及标准化管理体系构建等实施综合控制策略。实践证明，通过采取针对性措施，可有效降低溶剂单耗，为装置长周期、低成本、低排放运行奠定坚实的技术与管理基础。

**【关键词】**：低温甲醇洗工艺；甲醇损耗；控制方法

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.008

## 引言

随着现代煤化工与天然气净化行业对能效和环保的要求日趋严格，作为主流净化技术的低温甲醇洗工艺，其运行过程中的甲醇损耗已成为一个亟待优化的重要课题。溶剂损失不仅直接增加了原料成本，也带来了后续环保处理的压力。深入剖析甲醇损耗的关键成因，并系统性探讨其控制路径，对于提升工艺整体经济效益、实现清洁生产与可持续发展，具有重要的理论价值与现实指导意义，是当前工艺优化与管理的核心任务之一。

## 1 低温甲醇洗工艺技术概述

低温甲醇洗工艺技术是现阶段煤化工生产中普遍的应用技术，根据工艺设备设置的特征进行分类，可以划分为鲁奇工艺、林德工艺两种类型。在生产过程中，无论是林德工艺还是鲁奇工艺，基本都包括了硫化氢浓缩、甲醇水分离、富甲醇闪蒸等基本环节，两者在原料气的洗涤与再生循环方面早期存在一定的差别。该工艺的核心原理是利用低温（约-40℃至-60℃）下甲醇对酸性气体（如H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>）极佳的物理溶解性，以及对烃类、氢气等有用组分溶解度低的特性，实现高效、选择性脱除。其显著优势在于吸收能力强、溶液循环量小、能耗相对较低，且能同时深度脱除多种杂质，净化气纯度极高。因此，它成为现代大型煤化工、天然气净化及合成氨装置中气体净化的首选工艺之一。然而，生产中的甲醇损耗问题直接关系到装置运行的经济性与环保性，是工艺优化与控制的焦点。

## 2 低温甲醇洗甲醇损耗的成因分析

### 2.1 气相夹带是甲醇损耗的首要途径

在低温甲醇洗工艺流程中，甲醇主要通过气相流股被携带出系统，这是造成溶剂损失的最主要部分。净化气夹带是一个关键环节。当从主吸收塔塔顶排出的净化气中夹带了甲醇雾滴或蒸汽时，甲醇便随之损失。这通常源于塔顶操作温度控制过高，导致甲醇的饱和蒸汽压显著上升，气相中的甲醇含量自然增加。此外，塔内设计的除沫器如果发生堵塞、破损或本身分

离效率不足，就无法有效捕获细微的液滴。在装置负荷波动或发生液泛时，气液两相剧烈混合，也会大幅增加净化气中的甲醇夹带量，造成可观的溶剂损失。

酸性气体和尾气夹带是另一大损耗源，来自热再生塔顶的酸性气体以及后续的尾气，在离开系统前需经过冷却和分离。如果酸性气冷却器的换热效果因结垢或温差不足而下降，会导致气流温度偏高，其中富含的甲醇蒸汽无法充分冷凝。在分离罐中，如果液位控制过低或气流速度过快，会使气液分离时间不足，未能冷凝的甲醇蒸汽和微滴便被气流带走。这部分气流通常直接送往火炬或后续处理单元，夹带的甲醇随之永久损失，且可能引发额外的环保问题。

### 2.2 液相排放导致甲醇的持续性流失

甲醇通过液相的不当排放造成的损失，虽然单次量可能小于气相夹带，但属于持续性或间歇性的流失，累计总量不容忽视。废水排放是典型的流失渠道。在甲醇水分离塔中，如果塔釜温度控制偏低或塔板效率下降，会导致甲醇与水分离不完全，使得排放的废水中含有超标的甲醇。这不仅造成溶剂损失，更增加了废水处理装置的负荷与环保风险。此外，如果工艺水与富甲醇换热的换热器发生内漏，甲醇会直接漏入工艺水侧，并最终随废水排出系统，这种隐蔽的泄漏往往难以及时发现，损失时间长。

系统氨富集后的排放是特定工况下的损耗，原料气中若含有微量氨，会在循环甲醇中不断累积。为防止氨浓度过高影响溶剂品质和设备运行，需定期从系统中外排一部分富氨甲醇溶液。这部分被排出的甲醇溶液通常需要进行专门回收处理或作为危险废物处置，其中的甲醇便因此损失。此外，在日常操作和维护中，如泵的导淋、过滤器清洗、检修时的排放，如果没有建立有效的污甲醇收集和回收系统，这些零散的甲醇或甲醇水溶液就会被排入地沟或污油系统，形成无组织的损耗。

### 2.3 工艺操作参数偏离设计是内在诱因

系统温度和压力的控制失当，是加剧甲醇各类损耗的根本

性工艺诱因。温度是影响甲醇蒸汽压的最敏感因素。当系统冷量不足、换热器结垢或冷媒温度升高时,会导致贫甲醇入塔温度、系统各关键点温度上升。根据物理平衡原理,温度升高会指数级增大甲醇的饱和蒸汽压,使得它在气相中的平衡浓度大幅上升。这不仅直接增加了净化气、尾气中的甲醇蒸汽分压,也使得在后续冷却分离环节需要移走更多的冷量才能实现冷凝,一旦冷却能力不足,损耗必然加剧。

系统压力与液位的波动同样关键,吸收塔、闪蒸塔等设备的操作压力如果低于设计值,会降低气体在甲醇中的溶解度,并可能促进溶解气的解吸,这个过程会加剧塔内的气液扰动,增加雾沫夹带的风险。同时,各分离罐的液位控制至关重要。液位过高,会压缩气体分离空间,增加气体出口带液的风险;液位过低,则可能导致高压气体窜入低压管线,形成气流冲击,破坏分离界面的稳定,两者都会导致气相中夹带的液滴量增加,直接造成甲醇损失。

#### 2.4 设备性能缺陷与泄漏构成直接损失点

设备自身的性能衰退或发生泄漏,是导致甲醇损耗最直接、最明确的物理原因。分离内件失效是首要问题。塔器内部的除沫器、分布器、塔盘等内件,长期在低温、含固颗粒或易聚合物的介质中运行,可能发生堵塞、变形或破损。例如除沫器堵塞会使压差增大,局部气体流速过高,穿透除沫层夹带甲醇;除沫器破损则直接丧失分离功能。塔盘倾斜或脱落会破坏气液均匀分布,造成局部液泛,导致严重的液相夹带。

静密封与动密封点的泄漏无法完全避免,工艺系统中的法兰、阀门、仪表接头等静密封点,因垫片老化、紧固件松动会发生渗漏。机泵的轴封、搅拌器机械密封等动密封点,因磨损、损坏或冲洗不畅会发生泄漏。这些泄漏点通常分散、微小,但日积月累的蒸发或滴漏,其损失总量可观。更严重的是换热器的管程与壳程间发生内漏,特别是甲醇与工艺水或废水之间的换热器内漏,会造成大量甲醇直接混入废水系统,这种损失隐蔽且量通常较大,是日常监控和预防的重点。

### 3 降低甲醇损耗的控制方法

#### 3.1 精细化调控关键工艺操作参数

稳定且优化的工艺操作是降低甲醇损耗的基础性控制手段,其核心在于对温度、压力与液位的精准调控。要严格控制低温吸收的工况温度,尤其必须保证贫甲醇进入吸收塔的温度维持在设计低位。这需要通过监控和优化制冷系统效率,确保冷媒供应充足稳定,并定期清洗相关换热器,防止结垢导致换热效率下降。同时,需要降低热再生塔顶酸性气体、尾气洗涤塔出口气体的温度,通过增强换热与冷却,将气体中甲醇的饱和蒸汽压降至最低,从而减少气相携带的甲醇量。其次要保持系统压力的平稳运行,避免吸收塔、闪蒸塔等设备出现大幅压力波动,以防破坏气液平衡引发液体夹带。对各分离罐的液位

实施精确控制也至关重要,必须维持在正常操作区间内,液位过高会压缩气液分离空间,过低则可能导致气体窜流,两者均会直接导致气相带液损失。通过建立严格的操作参数监控与考核制度,可以促使操作人员精心调整,从源头上减少因工况偏离引发的甲醇蒸发与夹带。

#### 3.2 强化气液分离设备的效能与改造

提升气液分离环节的设备效能是从硬件上阻断甲醇损耗的关键路径,对现有塔器的内件进行效能评估与升级改造是首要任务。在酸性气洗涤塔、尾气洗涤塔以及主吸收塔的塔顶气体出口,可以增设或更换为高效的丝网除沫器、旋流板式除沫器等内件,这些高效内件能捕获更小直径的液滴,显著提升气液分离效率。对于分离效果不佳的分离罐,可以考虑在内部增加折流板或改进入口分布器,以优化气流分布,延长气液分离的停留时间,实现更充分的沉降分离。对关键换热设备进行性能维护与优化同样重要,特别是酸性气冷却器、尾气冷却器等,必须定期进行化学清洗或机械清理,保障其换热效率,确保气体中的甲醇蒸汽能被充分冷凝下来。对于因设计余量不足导致冷却效果长期不佳的换热器,需要进行核算并实施换型改造,以满足深度冷凝回收甲醇的需求。

#### 3.3 建立并优化多级甲醇回收与密闭循环系统

为从根源上降低甲醇损耗,必须构建主动、多级的甲醇回收与密闭循环系统,实现溶剂的过程全流程管控与回收。应在尾气排放末端增设深度回收单元,如高效水洗塔或深冷装置,利用低温介质对气体进行最终净化,捕集其中残存的微量甲醇蒸汽与雾滴,并将富含甲醇的洗液送回系统精馏,从而几乎消除尾气排放带来的损耗。建立覆盖全厂的污甲醇密闭收集网络至关重要。将生产区域内所有机泵导淋、安全阀排放口、设备及管道低点排液等可能产生含甲醇液体的散点,通过管道连接至专用的地下收集罐,杜绝无组织排放。收集的稀甲醇液可定期输送至甲醇水分离塔或专用精馏塔进行处理,提纯后返回主系统循环使用,实现溶剂的厂内闭环。此外,对甲醇水分离塔进行精细化操作是控制终端排放的关键。通过精确调控塔底温度与回流比,优化塔内气液平衡,确保甲醇与水高效分离,从而使外排废水中的甲醇浓度稳定控制在极低水平,从最终排放口最大限度减少损失。这一多层次、全流程的回收策略,将潜在损耗点转化为内部资源回收点,是降低溶剂单耗的系统性解决方案。

#### 3.4 实施严格的设备完整性管理与泄漏检测

针对设备泄漏和性能劣化导致的损耗,必须建立并执行严格的设备完整性管理体系。推行以预防为主的检维修策略,利用装置停车机会,对塔内件、换热器、分离罐等进行系统性的检查、清理和修复。对易发生泄漏的动设备密封,如甲醇循环泵的机械密封,应选用高品质密封件,并确保密封冲洗系统工

作正常,可考虑升级为无泄漏的屏蔽泵或磁力泵。建立主动的泄漏检测与修复制度,定期使用红外热成像仪、便携式挥发性有机物检测仪等工具,对全装置的法兰、阀门、泵密封、取样点等潜在泄漏点进行系统性扫描检测,及时发现并处理微小泄漏。对关键换热器,应定期监测其出口物流的组分,例如分析废水中是否含甲醇,以早期发现因内漏导致的甲醇流失。通过强化设备基础管理,可以大幅减少无组织排放造成的跑冒滴漏。

### 3.5 完善生产管理规程与绩效监控体系

科学的管理制度和监控手段是落实各项技术措施的保障,必须制定并细化涵盖开停车、正常操作、异常工况处理等全过程的标准化操作规程。特别是针对甲醇损耗较大的开停车环节,要优化操作步骤,例如采用氮气置换代替直接放空,逐步升降温和压力,以最大程度减少溶剂的挥发和排放。建立以班组为单位的甲醇单耗考核指标体系,将理论消耗与实际消耗的

差值作为关键绩效指标,与班组及个人的经济效益直接挂钩,从而调动全员主动参与节能降耗的积极性。同时,强化在线分析与监测,在净化气出口、尾气排放口、废水排放口等关键点安装在线甲醇分析仪,实现甲醇含量的实时监控与预警,一旦数据超标立即追查原因并调整操作。定期对操作和维护人员进行专项培训,提升其对甲醇损耗途径的认识和控制技能,形成全员重视、全过程控制的降耗文化。

## 4 结语

综上所述,低温甲醇洗工艺中的甲醇损耗控制是一项贯穿设计、操作、维护与管理全流程的系统工程,其关键在于精确识别损耗路径并实施多维度的综合治理。通过集成应用工艺优化、设备升级、回收强化与管理提升等手段,能够实现对溶剂损耗的有效遏制。未来,随着智能监控与更高效内件技术的融合发展,该工艺的经济性与环保性能有望得到进一步提升,为相关工业领域的绿色低碳转型提供持续的技术支持。

## 参考文献:

- [1] 曲耀鹏,宋鹏,孙金菊.液体膨胀机在低温甲醇洗工艺中的应用及优化[J].西安交通大学学报,2025,59(04):203-212.
- [2] 车建,肖小平,马子云,等.低温甲醇洗过滤器在线清洗工艺改造[J].氮肥技术,2024,45(06):46-48.
- [3] 何鹏,杨吉祥.大型煤化工低温甲醇洗工艺的尾气处理技术研究[J].煤化工,2024,52(04):45-48.
- [4] 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.
- [5] 张爱华.煤化工尾气脱碳与低温甲醇洗集成工艺对比研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(09):187-189.
- [6] 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.
- [7] 濮思菁.低温甲醇洗装置中硫化亚铁的清洗钝化处理[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(05):152-154.