

不同胺类溶剂对煤制气含烃富硫酸性气中H₂S的选择性吸收性能研究

符昆阳

国能新疆煤制气有限公司 新疆 昌吉 831100

摘要：胺类溶剂在固定床气化煤制气含烃富硫酸性气处理中呈现出差异化的H₂S定向捕获能力，可依托自身分子结构完成酸性气体与烃类组分的高效分离。煤制气生产流程里低温甲醇洗单元排出的富硫酸性气携带大量烃类物质，这类物质进入硫回收系统会引发设备堵塞与产品品质下降等系列问题。本文围绕异丙醇胺、甲基二乙醇胺、改性MDEA三类溶剂展开吸收性能深度剖析，结合工艺匹配度与工业运行场景完成多维度研判，为煤制气酸性气预处理溶剂选型提供贴合现场需求的技术支撑。

关键词：不同胺类溶剂；煤制气；含烃富硫酸性气；H₂S；选择性吸收性能

引言：煤制天然气产业依托我国能源资源禀赋承担着气源保障与清洁用煤的双重使命，固定床气化工艺在行业内占据较大应用比例，其产出的富硫酸性气具有烃类组分占比偏高的典型特征。酸性气未经处理直接进入硫回收单元会引发制硫炉超温、管路积碳堵塞、催化剂失活以及硫磺产品色泽异常等问题，直接影响整套装置的连续稳定运行。胺法选择性吸收工艺凭借成熟的工业应用基础成为酸性气预处理的主流路径，不同类型胺类溶剂在复杂气相体系中对H₂S的结合效率与排斥杂质能力存在明显差异。开展面向煤制气现场工况的胺类溶剂选择性吸收性能研究，能够精准匹配工艺需求，破解固定床气化煤制气项目酸性气处理的行业共性难题。

1 煤制气含烃富硫酸性气处理体系与胺类溶剂基础适配性

1.1 含烃富硫酸性气体体系组成与处理核心诉求

固定床气化煤制气全流程中低温甲醇洗单元排出的富硫酸性气具备多组分共存的复杂体系特征，各类组分在吸收塔内的气液接触过程中会以不同方式干扰溶剂的定向作用效果。烃类物质在气相体系中保持稳定的分子形态，这类物质与常规胺类溶剂之间不形成化学键合作用，但其在溶剂相中的物理溶解行为会持续降低吸收体系的纯净度，进而影响后续再生环节的气相组分纯度。二氧化碳与硫化氢均属于酸性气体范畴，两种气体分子在溶剂活性位点表面存在持续的结合竞争行为，二者与溶剂分子的反应速率差值直接决定分离过程的精准程度与最终效果。现场气相体系始终处于特定温度与压力构成的稳定环境，工况条件的细微变化会改变溶剂分子的反应活性与界面传质效率，进而传导至整个预处理单元

并改变运行状态^[1]。处理体系的核心诉求在于持续提升硫化氢组分浓度并最大限度脱除烃类杂质，以此保障后续硫回收装置能够摆脱杂质干扰并维持长周期稳定运行状态，避免设备堵塞、产品品质下降等问题持续出现。

1.2 胺类溶剂选型核心维度与现场适配原则

用于煤制气含烃富硫酸性气处理的胺类溶剂需围绕多项工业应用核心指标完成全方位综合评估，各项指标的表现水平共同决定溶剂在长期工业场景下的实际应用价值。溶剂分子结构中功能基团的排布方式与空间位阻程度，是调控硫化氢选择性吸收能力的核心内在影响因素，基团体积大小与电子云分布特性会直接改变气体分子的反应路径与溶剂结合强度。溶剂在长期连续运行过程中需抵御气相体系内微量杂质的持续侵蚀作用，抗氧化性能与抗热分解稳定性决定溶剂的有效使用周期与现场物料补充成本。再生过程的能量消耗水平与再生完成程度直接关联整套预处理装置的运行经济性，再生后贫液的吸收能力恢复水平影响循环使用的稳定性与持续性。溶剂选型需遵循与现有煤制气装置工艺流程无缝衔接的基本原则，最大限度降低改造工程量与上下游生产单元的运行扰动，保障整体生产系统的连续稳定运行，避免因溶剂适配性不足引发流程调整与设备更换。

1.3 吸收-再生循环系统工艺节点与溶剂匹配要求

吸收塔内气液两相的接触状态与界面分布情况决定硫化氢的传递效率与吸收过程完整性，液相溶剂的分布形态与在塔内的停留时间需与气相进料负荷形成动态匹配关系，以此保障吸收过程始终处于高效区间。富液在管道输送与换热器换热环节需维持稳定的温度区间，温度异常波动会引发溶剂溶解度变化与副反应产物生成，

破坏液相体系的稳定状态并影响后续再生效果。再生塔依靠外部热源提供能量完成富液中酸性气体的解析过程,塔内温度场与压力场的分布均匀性直接影响解析深度与再生后贫液品质。再生后产出的酸性气需满足硫回收装置进料的严格组分要求,烃类杂质的残留量需控制在不会引发系统故障的范围之内^[2]。循环系统内各个工艺节点的运行参数相互关联且彼此影响,溶剂性能需与各节点条件形成高度适配,避免单一环节波动引发整个预处理单元效率下降。分离后的烃类组分需具备安全稳定且经济合理的处置路径,实现资源回收利用与环保排放达标双重目标。

2 三类典型胺类溶剂 H₂S 选择性吸收性能深度分析

2.1 异丙醇胺在含烃富硫酸性气中的吸收行为特征

异丙醇胺分子结构中羟基与胺基呈现高度紧凑的排布形态,对硫化氢的捕获过程融合化学结合与物理溶解双重作用模式,在中等浓度酸性气体中可完成基础的组分分离任务。该溶剂与二氧化碳的反应速率长期处于较高水平,在多组分混合气相体系中会出现明显的共吸收现象,对不同酸性气体的选择性边界相对宽泛,难以实现硫化氢与二氧化碳的精准区分。烃类物质在异丙醇胺中的物理溶解量显著高于其他同类溶剂,长期循环运行过程中会持续出现烃类累积现象,这类累积杂质会逐步占据溶剂活性位点,进而持续削弱溶剂的吸收性能并干扰再生环节的稳定运行。溶剂在常规工业工况下的热稳定性处于中等水平,高温环境下会缓慢生成少量降解产物,降解产物会在循环体系中不断积累,逐步降低贫液的净化能力与循环使用效率。再生过程所需的操作条件相对温和,再生后贫液的吸收能力可恢复至基础应用水平,但面对固定床气化产生的高烃含量酸性气时,难以满足深度净化与高效提浓的处理需求,更适用于烃类含量偏低且整体处理要求相对宽松的酸性气体体系。

2.2 甲基二乙醇胺在含烃富硫酸性气中的吸收行为特征

甲基二乙醇胺以稳定的叔胺结构为核心骨架,与硫化氢的反应遵循快速质子传递机制,可在较短气液接触时间内完成目标组分的定向捕获,保障吸收环节的高效推进。该溶剂与二氧化碳的反应速率远低于硫化氢,在相同接触条件与工况环境下能够有效抑制二氧化碳的共吸收行为,显著提升体系对硫化氢的专属选择性,减少非目标组分的伴随吸附。烃类物质在甲基二乙醇胺中的溶解度长期处于较低区间,溶剂全周期循环过程中烃类累积效应微弱,可大幅减少杂质带入后续流程引发的设备堵塞、催化剂失活等运行风险。溶剂在煤制气现场复

杂工况下具备良好的热稳定性与抗降解能力,长期连续运行不会出现明显的性能衰减,物料损耗量可稳定控制在较低水平,降低日常补充与维护成本^[3]。再生过程所需能量处于中等区间,与煤制气装置现有公用工程供应能力形成良好适配,再生后贫液可稳定维持高效吸收状态,无需频繁调整操作参数即可保持分离效果。该溶剂在中等烃含量酸性气处理场景中展现出均衡的综合性能力,能够兼顾选择性、稳定性与经济性多重应用需求。

2.3 改性MDEA溶剂在含烃富硫酸性气中的吸收行为特征

改性MDEA溶剂通过精准分子结构修饰引入专用位阻基团与高效活化组分,从分子层面优化对硫化氢的识别精度与结合能力,进一步拉大与二氧化碳、烃类的反应速率差距,构建更严格的选择性吸收体系。位阻基团的存在可有效阻隔溶剂分子与二氧化碳的接触路径,削弱溶剂对非目标酸性气体的结合倾向,强化酸性气体之间的选择性差异,更好适应高杂质含量酸性气的复杂处理场景。活化组分能够加快硫化氢的吸收动力学速率,缩短气液两相必要接触时间,提升吸收单元的整体处理效率,降低设备体积与占地面积需求。改性溶剂对烃类物质的排斥作用得到显著强化,烃类物理溶解量降至更低水平,从源头切断烃类进入后续硫回收系统的通道,消除积碳堵塞与黑硫磺产生的核心诱因^[4]。溶剂的热稳定性与抗杂质侵蚀能力优于常规胺类溶剂,可抵御现场工况波动与微量杂质的长期侵蚀,再生能耗与溶剂损耗均实现优化,全周期运行成本更低。该溶剂在固定床气化高烃含量酸性气预处理中具备突出性能优势,可满足工业装置长周期稳定运行与高效分离的双重要求。

3 胺类溶剂吸收性能对煤制气装置运行的深层影响

3.1 溶剂性能对预处理单元稳定运行的影响

胺类溶剂的吸收稳定性直接决定预处理单元的连续运行时长与故障发生概率,性能优异的溶剂可在复杂气相环境中保持作用效果稳定,降低设备堵塞与管线腐蚀的潜在风险。溶剂对气相杂质的耐受能力深刻影响体系的长期运行状态,耐受度不足会在循环过程中逐步引发溶剂变质与吸收效率下降,大幅增加现场物料补充频次与设备维护的整体工作量。溶剂的吸收负荷适应性需全面覆盖煤制气装置全周期生产波动范围,在不同进料负荷与工况变化条件下均能维持稳定的硫化氢提浓效果,避免因工况波动引发处理效率骤降与系统运行紊乱。再生单元的能耗水平与溶剂再生特性紧密相关,适配性良好的溶剂可在解析环节降低蒸汽与电力等公用工程消耗,持续优化装置整体运行成本。溶剂的物理化学性质

需充分满足设备材质兼容要求,避免因溶剂特性与设备材料不匹配引发局部腐蚀、密封失效等连锁问题,保障预处理单元在全运行周期内保持稳定状态,为上下游装置提供可靠支撑。

3.2 溶剂选择性对硫回收系统运行状态的影响

胺类溶剂的选择性高低直接决定再生后酸性气的组分纯度,高选择性溶剂可精准提升硫化氢浓度并有效降低烃类残留量,全面优化硫回收炉的燃烧条件与反应环境。烃类脱除效果达标能够从源头避免制硫炉内出现局部超温现象,保护炉内衬里结构完整性,减少高温损伤带来的设备维修与更换成本,有效延长核心设备使用寿命。酸性气中烃类杂质含量降低可显著减少不完全燃烧产生的积碳物质,防止积碳附着并堵塞硫冷凝器管程与液硫管线,降低装置非计划停车频次与应急处置压力。硫化氢浓度提升可强化克劳斯反应的转化效率,维持催化剂床层活性稳定,避免杂质毒害导致的催化剂快速失活,延长催化剂整体使用周期^[5]。洁净的进料气可有效避免硫磺产品出现色泽异常与杂质超标问题,保障产品品质达标与稳定市场价值。预处理单元运行稳定可减少硫回收装置频繁开停车次数,简化现场操作流程,降低人为干预带来的安全风险,提升整套系统运行可靠性。

3.3 溶剂应用对煤制气项目综合效益的影响

胺类溶剂的性能表现直接影响酸性气处理单元的投资规模与长期运行成本,高性能溶剂可降低核心设备规格要求与循环物料消耗,缩短项目整体投资回报周期,提升资产利用效率。溶剂带来的装置稳定运行效益可有效抵消部分物料采购成本,减少因积碳堵塞、设备维修与非计划停车产生的额外支出,全面提升项目整体经济效益。分离出的烃类气体可回收作为燃料接入系统使用,实现副产物资源化利用,为项目创造持续稳定的额外收益。溶剂应用技术的成熟度直接影响项目建设周期与现场调试难度,适配性强的溶剂可缩短调试周期,快速实现装置满负荷达标运行,加快项目产出效益节奏。

该项技术的成功应用可形成固定床气化煤制气酸性气处理的标准化解决方案,为行业内同类项目提供可复制、可推广的实践经验,推动煤制气产业整体技术水平与环保标准提升。项目形成的技术成果还可助力企业构建核心技术壁垒,增强在现代煤化工领域的市场竞争力与行业影响力。

结束语

固定床气化煤制气含烃富硫酸性气处理对胺类溶剂的选择性吸收性能提出严苛要求,三类溶剂在吸收机制、杂质耐受度与工业适配性方面存在明确差异。异丙醇胺在温和工况下具备基础吸收能力,甲基二乙醇胺展现出均衡的综合性能,改性MDEA溶剂通过结构优化实现选择性与稳定性的双重突破。溶剂性能直接作用于预处理单元与硫回收系统的运行状态,影响装置连续运行周期、产品品质与整体经济效益。结合煤制气现场工况与行业痛点,改性MDEA溶剂更适配高烃含量酸性气的深度处理需求。该项研究成果可为酸性气预处理溶剂选型提供实践依据,助力煤制天然气项目安全稳定运行,推动现代煤化工产业高质量发展。

参考文献

- [1]姜肃,符楠,胡茵静,等.2014-2030年中国民用煤燃烧的有机胺和 NH_4^+ 排放[J].生态环境学报,2026,35(3):447-457.
- [2]王方刚,陆加越,张英杰,等.醇胺类和C-S-H-PCE纳米种子多元体系协同效应对高掺粉煤灰-水泥浆体早期强度的影响[J].混凝土,2024(11):138-144,154.
- [3]刘荣桂,夏天,张邵峰.醇胺类迁移型阻锈剂在粉煤灰混凝土中的迁移性能试验研究[J].混凝土,2022(2):71-74,79.
- [4]牟曼,夏芝香,许晓明,等.含硫高炉煤气氛围下混合胺吸收剂的脱碳性能[J].高校化学工程学报,2025,39(4):724-731.
- [5]刘涛.酰胺类化合物提取低温煤焦油酚类物质研究[J].山东化工,2020,49(3):12-14.