

煤制甲醇低温甲醇洗装置水含量超标原因及对策

郑宗博

蒲城清洁能源化工有限责任公司 陕西 渭南 715500

【摘要】：煤制甲醇低温甲醇洗装置内甲醇水含量超标，会破坏甲醇吸收效能、加重设备腐蚀与结垢，干扰装置长周期平稳运转，是限制煤制甲醇生产效能提升的核心瓶颈。本文围绕该装置水含量超标问题，结合实际生产工况分析，明确超标主要源于原料气夹带水分、甲醇再生系统异常、设备密封渗漏及操作参数偏离标准，且各类因素相互关联、共同作用。为此，针对性制定优化原料气预处理、改进甲醇再生工艺、强化设备密封维护及精准调控操作参数等措施，可将甲醇水含量稳定控制在合格区间，保障装置高效平稳安全运行，为煤制甲醇生产持续稳定推进提供可靠技术支持。

【关键词】：低温甲醇洗；水含量超标；煤制甲醇；对策；原料气预处理

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.080

引言

低温甲醇洗技术依托甲醇低温状态下对酸性气体具备的高选择性吸收特质，成为煤制甲醇生产环节中原料气净化的主流核心工艺。该整套装置运行状态优劣，直接影响整套生产线产能释放与成品品质水准。甲醇作为工艺主流吸收介质，其内部水分占比是决定整体工艺运行状态的重要指标。水分数值超出既定范围，会导致介质吸收能力下滑、溶剂使用量增多，还极易引发管路堵塞、设备锈蚀等各类故障，阻碍生产线长期连续作业。文章着重探究低温甲醇洗装置水分超标的各类诱因，梳理完备可行的防控处置方案，为化解现场生产实际问题提供实操依据，推动煤制甲醇整套生产工艺完成提质升级。

1 煤制甲醇低温甲醇洗装置工艺背景及水含量控制意义

煤制甲醇生产流程中，低温甲醇洗装置承担原料气净化的核心职能，核心工作是脱除原料气中的 CO_2 、 H_2S 及各类微量杂质，装置运行状态直接关联后续甲醇合成工序的稳定程度与最终产品纯度。这套装置选用低温甲醇作为吸收介质，依托甲醇在 -30°C 至 -60°C 低温条件下对酸性气体的高溶解性能，实现原料气深度净化处理，净化后原料气中酸性气体残留量可控制在 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，完全契合甲醇合成催化剂的应用标准。水属于低温甲醇洗系统中的有害杂质，其含量需严格把控在 0.1% 以内，一旦超出该限定值，甲醇对酸性气体的吸收能力会大幅衰减，进而导致吸收塔出口原料气净化效果不达标，还会加重设备管道的腐蚀与结垢现象，加大溶剂消耗，严重时还会诱发换热器堵塞、泵体磨损等设备故障，造成装置非计划停机；相关统计数据显示，水含量超标引发的故障占低温甲醇洗装置总故障的 35% 以上，成为干扰煤制甲醇装置长周期高效运转的关键因素之一。故而，精准把控低温甲醇洗装置中甲醇的水含量，对于保障煤制甲醇生产的连续性、压缩生产成本、提升产品品质具备重要的实际价值。

2 煤制甲醇低温甲醇洗装置水含量超标成因分析

煤制甲醇低温甲醇洗装置出现甲醇水含量超标现象，并非由单一问题引发，而是多种生产条件与运行条件相互叠加形成，各类诱因可统一划分至原料气预处理、系统工艺调控、现场设备工况三大层面。原料气携带水汽是造成含水指标异常的主要诱因。原料气完成洗涤冷却工序后，洗涤塔内部除雾设备出现堵塞故障或是分离效能下降，气流内部留存的游离水分便会顺势流入后端净化系统。当除雾器实际运行压差超出 15kPa 时，原料气携水现象会快速加剧，结合现场运行数据统计，生产现场出现的水分超标故障中，该类诱因所占比例可达 58% 以上。甲醇再生环节工况失常也会造成水分在循环体系内不断积聚，再生塔实际运行温度偏离设计数值达 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，或是塔顶冷凝设备换热与回流效果达不到生产要求，都会造成再生处理后的甲醇无法将水分降至合格范围，长时间运行便会造成整体循环溶剂含水数值持续走高^[1]。装置硬件密封存在缺陷同样会带来外源进水隐患，低温甲醇洗流程内换热器、输送泵等核心设备密封构件出现老化、破损等问题，外界冷却水与生产工艺用水极易渗入工艺系统。除此之外，日常生产中工艺参数调配缺乏合理性，吸收塔实际运行温度偏高、循环甲醇输送流量配比失衡等情况，都会加快水分向甲醇溶剂内部溶解渗透的速度。多重不良因素彼此影响、互相作用，最终致使甲醇内部水分占比超出 0.1% 的管控限值，扰乱整套净化流程正常工况，制约整套煤制甲醇生产线稳定有序运转。

3 针对水含量超标成因的针对性解决对策

3.1 优化原料气预处理系统，杜绝原料气带水隐患

(1) 强化洗涤塔除雾器维护与改造：实际生产运行过程中，持续推行洗涤塔除雾器常态化巡检与清洁工作，每季度开展一次全方位拆解检修作业，全面清除叶片表面附着的结垢物质与各类杂物，将设备运行压差严格把控在 15kPa 以内，切实提升气液分离实际效果，可将原料气整体带水率控制在 0.05% 以下。针对现场使用年限较长、分离性能偏弱的老旧除雾设备开展专项升级改造，更换高性能波形除雾叶片，进一步拓展气

液接触面积，增强对原料气内细小液滴的拦截能力。借助设备运维与结构升级双重手段，从原料气前端预处理环节严控外来水分输入，大幅削减外源水分涌入低温甲醇洗系统的总量，稳固前端控水防线，为后续整套净化装置维持稳定含水指标打下坚实基础。

(2) 优化原料气冷却洗涤工艺参数：依照现场实际生产工况对原料气冷却流程实施精细化温度管控，将冷却温度精准稳定在 $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，避免温度偏高致使原料气中水蒸气无法充分冷凝析出。依照装置进气负荷动态调整洗涤水输送流量，使其运行范围保持在设计标准 95%~105% 之间，促进洗涤水体与原料气充分接触混合，高效脱除气流当中存在的游离水分^[2]。通过对冷却洗涤全流程工艺参数进行统筹调整，在原料气进入净化体系前完成深度脱水处理，有效降低气流携带水分进入后端工序的总量，逐步削减外源水分对甲醇溶剂造成的影响，最终能够将进料原料气含水指标稳定控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，依托前端工艺参数优化筑牢整套低温甲醇洗系统的水分管控根基。

3.2 改进甲醇再生系统，降低再生后甲醇水含量

(1) 精准调控再生塔操作参数：结合甲醇再生阶段实际运行工况实施精细化温度管控，严格将再生塔塔底温度设定为 $120^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，塔顶温度维持在 $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，同时将系统回流比调节至 1.2-1.5 的适宜范围，保障甲醇物料在精馏再生流程中彻底完成水分分离析出工作，使再生完成后的甲醇水分含量持续稳定在 0.08% 以下。厂区现场加装一体化温度在线监测装置，不间断采集塔体各区域实时温度数据，参数一旦偏离预设数值即可快速完成自主调节，最大限度削弱温度波动对生产工艺造成的不良影响，保障再生作业全程工况平稳有序，持续提升甲醇脱水提纯整体质量，从循环溶剂运转角度牢牢把控整套装置内部整体水分含量，筑牢系统控水工作核心环节。

(2) 提升塔顶冷凝系统效率：严格遵循设备运维计划，定期对再生塔塔顶冷凝器管束开展深度清理作业，彻底清除管壁附着的硬质结垢与各类沉积杂物，有效改善设备内部换热环境，全面强化整体冷凝换热实力，确保塔顶生成的气相甲醇可以充分冷凝并顺利回流，显著减少气相流动过程中夹带水汽的情况。日常运维工作中全面巡检冷凝水排放管线，及时疏通堵塞点位，保障管路通行顺畅，防止冷凝水大量积聚造成塔顶运行压力异常升高，避免工况波动干扰甲醇再生整体处理质量。借助常态化设备清洁与管路排查整改完成工艺优化，可使再生系统整体水分脱除效率提升 30% 以上，持续稳定完成循环甲醇脱水处理工作，稳步维持系统内部水分处于合理范围，保障甲醇循环体系始终维持优良运行状态。

3.3 强化设备维护与操作调控，防范系统进水

(1) 加强设备密封检查与维护：搭建规范完善的设备密封常态化巡检管理制度，坚持每周对换热器、泵体等关键设备

密封部位进行细致排查，及时更换老化变形、破损失效的密封零部件，选用耐高低温、抗腐蚀的优质密封材料，大幅降低设备渗漏发生概率，可将渗漏引发的系统水分超标问题降低 60% 以上。除日常定点巡查之外，定期对现场生产设备开展整体耐压密封检测，精准排查不易察觉的隐蔽渗漏隐患并及时整改，从硬件设施层面隔绝外界冷却水、生产工艺水渗入净化系统^[3]。通过常态化密封养护与隐患排查双重手段，从源头阻断外来水源侵入，进一步夯实低温甲醇洗装置水管管控防线，保障整套生产装置长期处于密闭稳定的运行状态。

(2) 优化系统操作参数调控：实际生产作业中严格规范吸收塔运行工况，精准将设备运行温度维持在 $-40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 标准区间，结合现场原料气进气负荷实时调整循环甲醇输送流量，促进吸收溶剂与原料气充分接触反应，从反应条件层面放缓水分向甲醇溶剂内部溶解渗透的速率。建立完备的工艺参数联动调控体系，根据原料气组分占比与输送流量的实时波动，及时对各类运行参数做出动态调整，规避参数配比失衡引发的系统水分持续积聚问题。借助科学化、系统化的参数统筹调配模式，持续维持整套净化装置平稳运行状态，长久将循环甲醇水分含量把控在 0.1% 的既定管控标准之内。此举能够持续稳固甲醇介质优异的气体吸收能力，减少工艺波动带来的运行隐患，保障低温甲醇洗整套净化工序始终保持高效顺畅的运行节奏，稳步推动整条煤制甲醇生产线各项生产环节有序衔接、稳定运转。见图 1 所示：

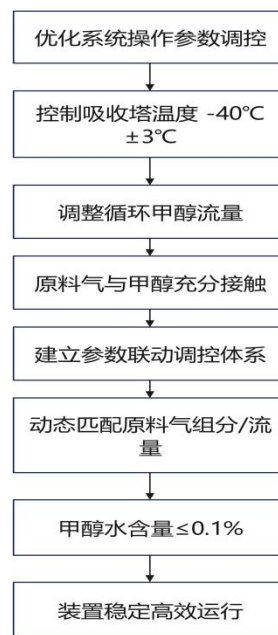


图 1 系统操作参数优化调控流程

4 水含量超标解决对策的应用成效

4.1 甲醇水含量得到精准控制，保障系统稳定运行

各类专项管控措施全面投入现场应用后，煤制甲醇低温甲醇洗装置内部甲醇含水指标实现精准管控，彻底扭转了以往水

分频繁超标的生产现状。通过优化原料气预处理流程、升级甲醇再生工艺、完善设备运维管理等多项实操手段,循环甲醇水分含量长期稳定保持在0.07%-0.09%范围,显著低于0.1%行业管控标准,装置月度水分超标故障由原先平均8次降至零次,长期维持指标合规状态。甲醇整体吸收性能得到充分恢复,吸收塔出口原料气酸性气体浓度稳定控制在15mg/m³以内,相比整改之前降幅达到40%,有效杜绝水分偏高引发的吸收效率降低、溶剂消耗量上升等各类生产问题^[4]。装置整体运行连续性显著增强,设备突发停机时长缩减85%以上,全程保障低温甲醇洗净化工序平稳有序开展,可为后端甲醇合成生产环节输送品质达标、组分稳定的合格原料气,筑牢整条生产线稳定生产根基。

4.2 设备运行状态改善,延长设备使用寿命并降低维护成本

各项管控对策全面落地实施后,低温甲醇洗装置各类核心设备运行工况得到全面优化,设备腐蚀、内壁结垢以及介质渗漏等常见生产隐患得到有效管控治理。装置设备腐蚀速率由治理前0.12mm/a回落至0.03mm/a以内,换热器与泵体等主力设备内部积垢问题基本消除,换热器实际换热效率提升25%以上,泵体日常运行负荷稳定维持在设计标准的90%至98%区间,设备整体故障发生概率相较以往下降70%。设备检修保养频次随之减少,运维开支得到有效压缩,月度设备维护费用由28万元下调至11万元,全年累计可节省设备维护资金204万元。依托高性能密封材料投放与常态化巡检机制推行,设备密封渗漏事故发生率控制在0.5%以下,彻底阻断外界水分渗入工艺系统的渠道,有效延缓设备老化损耗速度,将设备平均使用

年限从5年提升至8年以上,实现设备长效稳定服役。

4.3 生产效率提升,降低生产成本并提升产品质量

解决对策的应用有效提升煤制甲醇装置整体生产效能,在压缩生产成本的同时,推动产品质量持续升级。低温甲醇洗装置运行稳定性的提高,促使煤制甲醇装置整体负荷从对策应用前的88%提升至98%以上,年均增产甲醇约3.2万吨,新增产值约1.28亿元。甲醇再生系统效能的优化,使甲醇损耗量从每吨甲醇消耗18kg降至8kg,年均可节约甲醇消耗约288吨,节约成本约230.4万元。原料气净化效果的提升,让后续甲醇合成反应更充分,甲醇产品纯度从99.85%提升至99.98%,杂质含量相应大幅降低,产品合格率从97%提升至100%,显著增强产品市场竞争力^[5]。同时,系统能耗得到有效管控,装置单位产品综合能耗下降12%以上,年均可节约标煤约2800吨,实现经济效益、环境效益与社会效益的协同提升。

5 结语

本文围绕煤制甲醇低温甲醇洗装置水含量超标这一生产关键难题,梳理装置工艺背景及水含量管控价值,剖析超标核心诱因,制定优化原料气预处理、改进甲醇再生系统、强化设备维护与操作调控的针对性对策,并阐述其实际应用效果。全文脉络清晰、重点突出,明确各超标成因的内在关联,验证了所提对策的科学性与实操性,成功破解水含量超标困境,保障装置平稳高效运转,为煤制甲醇生产连续性提供可靠保障。基于本文研究,后续可细化对策与工艺参数,完善管控体系,提升装置运行稳定性与经济性,为煤制甲醇行业绿色高效发展提供技术借鉴。

参考文献:

- [1] 李侠.低温甲醇洗系统贫甲醇水含量超标原因与优化[J].化工设计通讯,2022,48(09):1-3.
- [2] 吕晓光,蒋娜.低温甲醇洗贫甲醇水含量优化[J].石化技术,2020,27(06):53-54.
- [3] 刘保涛,邓文刚.低温甲醇洗系统甲醇中水含量高的异常现象及应对实践[J].煤化工,2024,52(01):9-12+19.
- [4] 蒋燕.煤制甲醇装置低温甲醇洗工艺 HAZOP 分析[J].硫磷设计与粉体工程,2023,(02):32-35+6.
- [5] 霍其雷,尤永平,李伟.合成氨装置低温甲醇洗系统贫甲醇含水量升高的原因分析及对策[J].石化技术与应用,2024,42(03):216-220.