

甲醇合成系统结蜡的危害及清理策略

●张灵姣



[摘要] 甲醇合成系统作为化工生产中的重要一环,其在整个生产过程中的稳定运行是必不可少的。然而,甲醇合成系统在实际生产过程中,往往面临着结蜡的问题,这不仅会影响系统的正常运行,而且会使设备遭到破坏,从而降低生产效率。基于此,本文针对甲醇合成系统结蜡的危害及清理措施进行了深入探讨,以此对保证生产安全、提高经济效益具有重要意义。

[关键词] 甲醇合成系统;结蜡危害;设备堵塞;清理策略

合成甲醇的反应是一个复杂的二次反应,并且存在多种副反应的可逆反应。除了合成甲醇,在合成甲醇的过程中还会产生石蜡、二甲醚等一系列副产物。这些副产品积聚在系统中会导致设备堵塞,还会造成传热效率降低,使工艺的正常稳定运行受到影响。因此,为维护甲醇合成系统的稳定性以及延长设备寿命,需了解甲醇合成系统结蜡的危害,并采取有效的清理措施。

Q 甲醇合成系统概述

甲醇合成系统通过催化剂的作用高效转化为甲醇,其核心功能主要由一氧化碳、二氧化碳和氢气构成的合成气,并在特定温度及压力条件下合成而成。该体系源于原料气的制备,包括氢气和一氧化碳(或由二氧化碳还原得到的一氧化碳),以获得合成气为目的,涵盖天然气重整、煤气化或生物质气化等步骤。此外,为去除其中的硫化物、灰尘等杂质,合成气需要经过净化处理,才能保证催化剂长期稳定地运转起来。进入合成反应阶段,合成气被压缩至一定压力后送入合成塔,塔内填充甲醇合成催化剂。在催化剂的催化作用下,一氧化碳与氢气按照特定的化学计量比发生反应,生成甲醇和水。此过程伴随着大量的放热,因此需要有效的热交换系统来维持反应温度的稳定,避免过热导致的催化剂失活或副反应增加。反应后的产物,即粗甲醇,含有未反应的合成气、水以及少量的高级醇、醚等副产物。为了获得高纯度的甲醇产品,粗甲醇需进一步经过精馏提纯,并利用不同组分沸点差异的原理,通过多级蒸馏实现甲醇与杂质的分离。

Q 甲醇合成系统结蜡的危害

(一)堵塞设备孔道缝隙

(1)影响甲醇合成系统流畅运行。在甲醇合成过程中,石蜡等固体沉积物会在设备内部,尤其是孔道缝隙处逐渐积累。这些沉积物不仅占据了原本用于流体流动的通道,因其形状不规则和质地坚硬,还会造成流体流动的阻碍和紊乱。一旦孔道缝隙被堵塞,合成气、冷却水或其他介质的流动将受到限制,导致系统压力升高、流量减小,甚至引发设备故障。(2)影响甲醇合成系统热交换效率。甲醇合成反应是放热过程,为了保持反应温度的稳定,需要将反应产生的热量通过热交换设备及时移除。但热交换设备的传热面积在孔道空隙被石蜡堵截时会减小,传热效率就会随之降低。这将造成局部过热或整体温度升高的现象,很难控制反应温度。(3)对甲醇合成系统的安全性和稳定性构成威胁。当孔隙闭塞时,会改变系统内部压力分布,造成压力不均或局部压力过大。这样不仅会造成设备机械受力增大,还会造成安全事故,如漏电或爆炸等。同时,堵塞现象也会造成系统运行不稳定,出现起伏或异常现象。这些不稳定因素会对操作者的判断和控制造成干扰,给操作增加难度和风险。

(二)换热器传热系数下降

在甲醇合成系统中,热交换器传热系数的下降与系统的能效、产品质量乃至整体运行的稳定性直接相关。下面具体分析热交换器传热系数下降的危害后果。(1)导致系统能效降低。在甲醇合成过程中,换热器将反应热有效传递并移除作用,以确保反应温度维持在最佳范围内。然而,当换热器表面被石蜡等沉积物覆盖时,其传热性能会大打折扣。这意味着反应产生的热量无法及时被冷却介质带走,导致反应温度升高,使得冷却介质本身的温度升高,从而降低其冷却效果。这种能效的降低不仅增加了系统的能耗,

还会因反应温度的失控而使催化剂活性降低、副反应增多，最终影响甲醇的产率和纯度。(2)影响系统稳定性。在甲醇合成系统中，温度控制与反应的速率、产品的选择性以及系统整体效能等直接相关。然而，当热交换器传热系数下降时，由于热传递的迟滞和不完全，会造成温度控制的迟滞和误差，导致系统对温度波动的响应能力减弱。这种不稳定性不仅会使系统的保护机制因温度波动过大而增加操作难度，还会引发生产中断或设备损坏。此外，系统内部因热应力分布不均也会导致传热系数下降，增大设备损坏概率。(3)对产品质量造成影响。在甲醇合成过程中，为保证产品的纯净度和选择性，温度的控制是必不可少的。当热交换器传热系数下降引起反应温度升高时，会引起二甲醚、高级醇及其他副产物等一系列的副反应。这些副产品的存在不仅会使甲醇纯度降低，而且在后续的应用中，甲醇的纯度也会受到影响。

(三)降低气液分离效果

第一，从分离效率来看，将合成气中的甲醇蒸汽有效地从气相中分离出来，并以液态的方式回收利用，是气液分离器的主要功能。但在气液分离作用降低的情况下，分离效能会明显降低。具体来说，分离效率从设计价值的90%以上降低到70%甚至更低。这意味着，在后续的处理步骤中，大量甲醇蒸汽未能有效捕获，反而继续随气流动，导致甲醇损耗加大。根据一项实际运行数据来看，气相输出液相甲醇夹带量在分离效率降低到75%的情况下可以高达13%，这已经超出了设计数值，显著影响了系统的整体效能。

第二，从甲醇的含量来看，循环气中甲醇的含量会因气液分离效应的降低而提高。一般情况下，为了保证合成反应的顺利进行，循环气中的甲醇含量应保持在较低的水平。但是，循环气体中的甲醇含量会在分离效果降低的情况下明显增加，甚至比设计数值高出几倍以上。这种甲醇含量的提高，不仅会造成压机、合成塔等设备的减产、受损，而且会使系统运行风险加大，从而降低甲醇的收益率，导致产量下降。

第三，气液分离效果的降低，从系统能耗的角度来看，也会影响系统能耗的降低。大量甲醇蒸汽由于分离效率的下降无法得到有效的循环利用，而不断地随气流动。这不仅使后续的处理步骤增加了能源消耗，同时也造成了系统整体能耗会上升10%甚至更多。

(四)压缩机运行受损

(1)振动加剧与机械磨损。在甲醇合成系统中，作为关键装置之一的压缩机，其运行状态与系统整体的稳定性、高效性有着直接的关系。因为压缩机的振动加剧，使气液分离效果不理想，造成合成气中夹带了很多液态甲醇或其他杂

质。具体地说，震动幅度从正常的0.02mm以下上升到0.08mm甚至更高，不仅使机件间摩擦、磨损增大，还会造成共振现象，损害压缩机结构。压缩机轴承在振动幅度超过0.05mm的情况下，根据一项实际监测数据，其磨损速度会提高近50%，从而导致轴承寿命急剧缩短，设备故障风险增大。

(2)功率消耗与效率下降。当合成气中杂质含量较高时，压缩机需要消耗更多的能量来克服这些杂质带来的额外阻力。这不仅导致压缩机的功率消耗上升，还会因气体压缩不完全而降低系统的整体效率。根据实验数据，当合成气中甲醇蒸汽含量从正常值的0.5%增加到2%时，压缩机的功率消耗将增加约15%，而系统的整体效率则下降10%以上。

(3)过热与润滑失效。因压缩机运转受损而出现的过热、润滑不畅等问题。若冷却系统不能及时将热量带走，压缩机内部因振动、摩擦或气体压缩产生大量热量时，就会出现过热现象。过热不但会使压缩机机械性能下降，还会使润滑油氧化、变质速度加快，造成润滑不畅。从实际案例分析，其内部温度在压缩机过热的情况下升高到了150℃以上，远远超过了正常工作时润滑油所能达到的温度范围。这种高温环境会使润滑油的分解和碳化速度加快，形成堵塞油路的沉积物，使压缩机的磨损和失效程度进一步加剧。

Q 甲醇合成系统结蜡的清理策略

(一)停车清理

甲醇水冷器、粗甲醇分离器等关键设备在甲醇合成系统停车检修期间，可采用蒸汽煮蜡策略进行彻底清洗。

第一，在停车检修过程中，为蒸汽熬蜡清理工作创造有利条件。通过关闭相关设备和管道阀门，保证系统处于安全隔离状态。随后，利用蒸汽的高温高压特性，将蒸汽引入设备内部，如甲醇水冷器、粗甲醇分离器等，加热并软化蜡质沉积物。蒸汽的高温可以透过蜡层，使蜡质分子间的结合力受到破坏，以便于后续的冲洗与清除，使之逐渐液化或软化。在蒸汽熬蜡过程中，为避免热应力损伤或加速设备材料腐蚀，蒸汽的温度和压力都需要严格控制。

第二，清理完毕后，为彻底清除装置内部残余的蜡质及蒸汽冷凝水，可采用适宜的冲洗方法。在冲洗时，为了保证冲洗效果的同时，避免对设备造成二次损伤，应选用合适的冲洗介质和冲洗压力进行冲洗。在冲洗结束后，还需对设备进行严格的检查和测试，保证其原有的换热效率及分离性能，使设备内部没有残留物，没有外泄。

第三，工作人员在对设备进行清理时需严格按照有关安全条款和操作规程执行。在避免清理过程中产生的废液、废气等造成环境污染的同时，还应注意环境保护问题。为

防止结蜡问题的再次发生，应减少蜡质沉积物的形成和积累，从而延长设备的使用寿命，提高系统的稳定性和经济性。在清理完成后还需分析结蜡的原因，以便有针对性地采取预防措施。

(二)在线清理

为避免因停车清理造成的生产中断，可在甲醇合成系统连续运行时采用在线清理策略。

第一，在实行网上热洗之前，要对甲醇合成系统的总体运行状态进行全面的评价，保证系统能够接受热洗操作，而不需要超负荷运行。这就包括实时监测并详细分析甲醇水冷器、粗甲醇分离器等关键设备的运行状态、压力、温度等参数。通过对系统负荷的调整，在保持生产连续性的同时，确保热洗过程中不会对设备产生额外的压力或损伤。第二，因石蜡的熔点相对较低，可以通过升高甲醇水冷器入口的温度，使管道表面的石蜡逐渐熔化。在调节温度的过程中，为避免因温度过高而造成的设备材料损坏，需要对升温速率和最高温度进行精确的把控。同时，对系统其他部分的温度变化的影响也需引起密切的重视，这样才能保证整个系统的稳定运行。石蜡一旦开始融化，可以利用系统内循环的甲醇或专用清洗液，将融化的石蜡冲刷带出，实现对设备内部的彻底清理。第三，网络热洗的成功，除了依靠精准的操作参数控制外，更重要的是实时监控和评估清洁效果。对设备进出口的流体样品，在热洗过程中应定期进行采样分析，检查其中有无熔化石蜡或其他杂质。

(三)实施预防措施

(1)严把催化剂质量关，从源头上减少石蜡的产生。通过精选优质催化剂，并对其进行严格的质量检测流程。这项措施不仅要求与可靠的催化剂供应商建立长期合作关系，而且在发现和解决潜在质量问题的同时，也需对催化剂的性能进行定期评估。(2)对甲醇合成反应的条件做深入的研究，并详细优化温度、压力及空速等关键参数。为保证高效合成甲醇时产生结蜡，本文通过仿真实验及资料分析确定了最合适的反应条件。这要求有精确的测控能力，丰富的生产经验及专业知识，保证系统一直以最优状态运行。(3)加强原油气净化。原料气中杂质为结蜡的重要来源之一，为了使原料气中的碳基铁镍等杂质得到更有效的脱除，可采

用增加预洗甲醇的方法，使原料气的纯净度得到降低。这一措施不但使原料气纯度提高，而且为甲醇合成系统的稳定运行提供了强有力的保障，同时也减少了后续处理过程中的负担。此外，需对原材料气质量进行经常性的监测分析，做到有备无患，从而解决潜在的质量问题。(4)在生产过程中尽量减少开车、停车次数。由于经常开车、停车，会造成气温波动较大，从而增加打蜡风险。因此为保证生产系统的稳定运行，应优化生产计划，合理安排生产负荷。同时加强设备的检修、维护工作，提高设备的可靠性、稳定性，从而降低因设备故障引起的行车、停车次数。

综上所述，通过提高催化剂质量、优化反应条件、加强原料气净化以及减少开停车次数等多方面的努力，构建了一个全方位、多层次的结蜡防控体系。这些措施的实施不仅降低了结蜡的风险，还提高了生产效率、延长了设备寿命，为甲醇合成系统的长期稳定运行奠定了坚实基础。

Q 结束语

综上所述，由于设备堵塞、传热效率下降、生产效率降低及存在安全隐患，甲醇合成体系的结蜡问题是不能忽略的，其危害包括甲醇合成体制蜡。为减少结蜡的产生，需提高催化剂质量，优化反应条件，加强原料气净化等预防性措施，有效处理该问题。同时为了确保系统正常运行及装置安全，对已形成的石蜡，还应采用适宜的清扫方法，如网上热洗及停车清理，以提升系统运行效率。

参考文献

- [1]沈华.甲醇液体除蜡的技术开发应用探索[J].河南化工,2019,36(03):49-50.
- [2]郑大伟,李海涛.DAVY 甲醇合成系统结蜡原因分析及预防措施[J].中氮肥,2018(02):56-59.
- [3]李海涛,郑大伟.Davy 甲醇合成工艺系统结蜡问题探讨[J].氮肥与合成气,2021,49(12):25-28.

作者简介:

张灵蛟(1989—),女,汉族,宁夏吴忠人,本科,助理工程师,国家能源集团宁夏煤业有限责任公司甲醇分公司,研究方向:甲醇合成过程。