

汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀与对策

樊静园

中国石化塔河炼化有限责任公司 新疆维吾尔自治区 库车 842000

摘要：汽柴油加氢装置作为炼油工业中的重要环节，其反应流出物系统面临复杂的腐蚀环境。介质中的硫化物、氯化物等腐蚀性成分，高温高压的操作条件，以及高流速下的冲刷作用，共同加剧了系统的腐蚀风险。材质选择不当也会进一步影响系统的耐腐蚀性。通过优化工艺操作、选用耐腐蚀材料、加注缓蚀剂及加强设备监测与维护等措施，可有效减缓腐蚀速率，保障装置长周期安全运行。

关键词：汽柴油加氢装置；反应流出物系统；腐蚀；对策

引言

汽柴油加氢装置在炼油过程中扮演着至关重要的角色，其反应流出物系统则直接关系到产品的质量和装置的稳定性。然而，该系统在运行过程中易受多种腐蚀因素的影响，导致设备性能下降、安全隐患增加。本文旨在深入分析汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀因素，并探讨有效的防腐蚀对策，以期为炼油工业的安全生产提供理论支持和实践指导。

1 汽柴油加氢装置概述

汽柴油加氢装置是一种先进的炼油技术设备，旨在通过加氢反应提升燃油品质，实现节能减排的目标。该装置以柴油、氢气为原料，在高温、高压及催化剂作用下，于反应器内进行加氢精制，脱除硫、氮、氧等杂质，产出清洁柴油，副产石脑油与脱硫干气。其工艺流程复杂，关键单元众多。原料柴油与氢气混合，经反应进料加热炉预热后进入加氢精制反应器，氢气与杂质反应生成无害或低毒物质。反应混合物先后经高压、低压分离器，回收气相氢气与液相产品。气相氢气脱硫、循环压缩后回至反应单元，液相则经汽提塔、分馏塔分离出精制柴油等副产品。装置重点部位有反应、脱硫、氢压缩机、分馏单元等，这些部位承担关键反应与分离任务，且涉及硫化氢、氢气等危险化学品，安全风险高。为此，采取严格安全措施，配备先进DCS控制系统、超限报警及自动联锁保护系统，控制室采用抗爆结构。汽柴油加氢装置环保效益显著。加氢精制大幅降低燃油硫含量及其他有害物质，减少燃烧污染物排放，利于改善空气质量，提高燃油燃烧效率，降低燃料消耗，实现节能减排双重效益。

2 汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀因素分析

2.1 介质因素

在汽柴油加氢装置反应流出物系统中，介质成分复

杂，是引发腐蚀的关键因素之一。反应流出物中含有硫化氢、氯化氢、水以及氨等多种物质。硫化氢在有水存在的条件下，会发生电离，产生氢离子和硫氢根离子，氢离子的氧化性较强，能够与金属表面发生反应，导致金属腐蚀。研究表明，当硫化氢含量达到一定程度时，碳钢的腐蚀速率会显著增加。硫化氢与金属铁生成的硫化亚铁，虽能在一定程度上起到保护膜的作用，但在流动的介质中易被冲刷掉，使金属不断被腐蚀。氯化氢在水中形成的盐酸，对金属具有强烈的腐蚀性，能够迅速破坏金属的表面结构。氨在系统中与硫化氢、氯化氢等反应生成铵盐，如氯化铵、硫化铵等。相关实验数据显示，在相对湿度高于20%的条件下，碳钢在含有铵盐的环境中开始出现腐蚀，在相对湿度30%-50%时，腐蚀速率为0.82-1.63mm/a；在相对湿度超过50%时，腐蚀速率急剧增加。在有水分存在时，铵盐发生水解，使局部环境的酸碱度发生变化，进一步加速腐蚀过程。汽柴油本身含有的有机硫化物、有机酸等腐蚀性杂质，在特定条件下也会对反应流出物系统的金属材质造成腐蚀，多种介质的协同作用使得腐蚀问题更为严重。具体“见表1”。

表1 不同相对湿度下碳钢在含有铵盐环境中的腐蚀速率

相对湿度范围	腐蚀速率（mm/a）
高于20%开始出现腐蚀	-
30%-50%	0.82-1.63
超过50%	急剧增加

2.2 温度因素

温度对汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀有着显著影响。在低温区域，一般低于120℃时，主要是水和硫化氢、氯化氢等酸性气体形成的湿硫化氢腐蚀环境。硫化氢和氯化氢在水中电离，产生的氢离子和氯离子等对金属产生腐蚀作用。随着温度的升高，腐蚀速率会逐渐加快，这是因为温度升高会促进化学反应的进行，使

得金属原子的活性增强，更容易与介质中的腐蚀性物质发生反应。当温度处于120℃到230℃区间时，铵盐开始结晶析出，附着在设备和管道表面。铵盐的存在破坏了金属表面的保护膜，同时由于其水解作用，局部形成酸性环境，加速了腐蚀。在高温区域，高于230℃时，除了存在上述的腐蚀机制外，还会发生高温硫腐蚀。高温下，硫与金属直接发生反应，生成硫化物，而且随着温度的进一步升高，硫化物的生成速率加快，腐蚀更为剧烈。有研究指出，当温度从200℃升高到300℃时，高温硫腐蚀的速率提升了近2倍。温度的波动也会对腐蚀产生影响，频繁的温度变化会导致金属材料产生热应力，使得金属表面的保护膜更容易破裂，为腐蚀介质提供了可乘之机，从而加剧了整个反应流出物系统的腐蚀程度^[1]。

2.3 流速因素

流速在汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀过程中扮演着重要角色。当介质流速较低时，腐蚀主要以均匀腐蚀为主。反应流出物中的腐蚀性物质与金属表面接触相对缓慢，腐蚀产物能够在金属表面逐渐积累，形成一层相对稳定的腐蚀产物膜，在一定程度上可以减缓腐蚀的进一步发展。当流速增加时，较高的流速会对金属表面产生冲刷作用，使得金属表面的腐蚀产物膜不断被剥离，新鲜的金属表面持续暴露在腐蚀性介质中，从而加速了腐蚀的进程。特别是在管道的弯头、三通等部位，由于介质的流向发生改变，流速分布不均匀，会产生局部的高速区，这里的冲刷腐蚀尤为严重。相关数据表明，在一定的NH₄HS浓度下，当流速增加一倍时，碳钢的腐蚀速率可能会增加3-5倍。流速的增加还会促进介质中腐蚀性物质的扩散，使更多的腐蚀性离子能够快速到达金属表面，进一步加剧了腐蚀。如果流速过高，甚至可能引发空泡腐蚀，介质中的气泡在金属表面破裂时，会产生瞬间的高压，对金属表面造成机械损伤，与化学腐蚀共同作用，极大地降低了设备和管道的使用寿命。

2.4 材质因素

材质是影响汽柴油加氢装置反应流出物系统抗腐蚀性能的关键要素。不同的金属材质对腐蚀的抵抗能力差异很大。普通碳钢在含有硫化氢、氯化氢等腐蚀性介质的环境中，很容易发生腐蚀。碳钢中的铁会与介质中的腐蚀性物质发生化学反应，生成铁的化合物，导致金属的损耗。例如，在湿硫化氢环境中，碳钢会迅速被腐蚀，表面生成大量的铁锈，而不锈钢等合金材料由于其特殊的成分和组织结构，具有较好的抗腐蚀性能。不锈钢中含有铬、镍等元素，这些元素能够在金属表面形成一层致密的氧化膜，阻止腐蚀性介质与金属基体的接

触，从而有效地提高了抗腐蚀能力。即使是不锈钢，在特定的环境下也可能发生腐蚀，比如，当介质中含有大量氯离子时，氯离子会破坏不锈钢表面的氧化膜，引发点蚀和缝隙腐蚀等局部腐蚀现象。材料的制造工艺和加工过程会对其抗腐蚀性能产生影响，这些部位会成为腐蚀起始点，加速整个系统的腐蚀。材料的热处理状态也会改变其组织结构和性能，进而影响其抗腐蚀能力，合适的热处理能够提高材料的抗腐蚀性能，反之则可能降低其抗腐蚀性能^[2]。

3 汽柴油加氢装置反应流出物系统防腐蚀对策

3.1 优化工艺操作

(1) 严控反应温度。温度过高会加剧反应流出物中腐蚀性介质活性，加速设备腐蚀。要精准调控加热炉出口温度，使其在适宜工艺区间波动，降低因温度波动引发的腐蚀风险。密切监测反应器床层温度分布，防止局部过热，因局部高温区易腐蚀。通过调整进料量、循环氢流量等参数，维持床层温度稳定，降低腐蚀速率。研究表明，将反应温度波动控制在±5℃内，设备腐蚀速率可降20%-30%。(2) 优化氢油比是防腐蚀关键。适宜氢油比保证反应充分，减少不饱和烃等腐蚀性物质生成。过低反应不完全，增加结焦和腐蚀风险；过高则能耗增加。要依原料和装置状况，精确控制最佳比例，同时严格把控循环氢纯度，避免杂质腐蚀设备，如循环氢纯度从90%提至95%，反应流出物中腐蚀性杂质含量可降15%-20%。(3) 合理调整空速意义重大。空速过快，原料停留时间短，反应不充分，易产生腐蚀性中间产物；空速过慢，生产效率低，局部反应物浓度过高，加剧腐蚀。需依据原料特性和催化剂性能，优化空速设置，并精准调节原料预热温度，降低腐蚀风险。数据显示，合适空速下，装置腐蚀速率可比不合理空速时降低10%-15%。具体“见表2，表3”。

表2 反应温度波动控制与设备腐蚀速率关系

反应温度波动范围	设备腐蚀速率降低幅度
控制在±5℃内	20%-30%

表3 循环氢纯度提升与反应流出物中腐蚀性杂质含量变化关系

循环氢纯度变化	反应流出物中腐蚀性杂质含量降低幅度
从90%提至95%	15%-20%

3.2 选用耐腐蚀材料

(1) 反应流出物管道可选用含铬、钼等合金元素的不锈钢材质。铬能在管道表面形成致密氧化膜，阻挡腐蚀介质；钼可增强抗点蚀和缝隙腐蚀能力，像316L不锈钢，耐腐蚀性良好，在汽柴油加氢装置反应流出物系统

应用广泛。选择管道材质时,需综合考虑介质腐蚀性、温度、压力等因素,以保障长期稳定运行。有案例显示,316L不锈钢管道在相同腐蚀环境下,使用寿命比普通碳钢管道延长2-3倍。(2)反应器内构件选材同样关键。采用镍基合金制造内构件,如分布板、催化剂支撑格栅等。镍基合金具备优异的高温强度和耐腐蚀性,能在恶劣反应环境维持良好性能。制造时,严格控制材料质量与加工工艺,保证表面光洁度,减少腐蚀起始点,同时严格把控焊接质量,防止因焊接缺陷引发腐蚀。

(3)设备密封部位选用氟橡胶、聚四氟乙烯等耐腐蚀密封材料。它们化学稳定性好、耐油,能有效防止反应流出物泄漏,避免对设备外部造成腐蚀。安装密封件时确保正确紧密,定期检查磨损情况,及时更换老化或损坏的密封件,维持设备密封性,降低腐蚀风险。

3.3 加注缓蚀剂

(1)选择合适的缓蚀剂类型是关键。汽柴油加氢装置反应流出物系统,可选用有机胺类、咪唑啉类缓蚀剂。前者在金属表面形成吸附膜,阻止腐蚀介质接触;后者与金属化学反应生成保护膜。选择时,需依据介质成分、温度、pH值等综合评估,确保缓蚀剂的有效性和适应性。(2)确定合理的加注浓度至关重要。加注浓度过低,缓蚀效果不明显;加注浓度过高,则会造成资源浪费,增加成本,甚至可能对后续工艺产生不利影响。需借助实验室模拟及现场试验手段,综合确定最为适宜的缓蚀剂加注浓度。要根据装置的运行工况,如原料性质变化、负荷调整等,适时调整缓蚀剂的加注浓度,保证缓蚀效果的稳定性。例如,在原料硫含量增加10%时,缓蚀剂加注浓度需相应提高15%-20%,以维持良好的缓蚀效果^[3]。

3.4 加强设备监测与维护

(1)运用在线腐蚀监测技术,实时掌握设备的腐蚀状况。例如,采用电阻探针、线性极化电阻仪等设备,对反应流出物系统的关键部位进行腐蚀监测。电阻探针通过测量金属腐蚀导致的电阻变化,反映设备的腐蚀速率;线性极化电阻仪则通过测量金属表面的极化电阻,快速准确地评估腐蚀情况。通过在线监测,能及时发现腐蚀隐患,为采取相应的防护措施提供依据。(2)定期对设备进行全面检查,涵盖外观与无损检测。外观重点查看有无锈斑、蚀坑等腐蚀迹象;无损检测运用超声波、射线等手段,排查内部缺陷与腐蚀减薄。依据设备运行时长、工况环境以及过往腐蚀数据等,运用科学模型精准设定检查周期,发现腐蚀问题后即刻响应、妥善处置,以此防范设备损坏。如运行超3年设备,检查周期可缩至半年一次。

结语

综上所述,汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀问题涉及多个方面,包括介质成分、温度条件、流速影响以及设备材质等。为确保装置的安全稳定运行,需采取针对性的防腐蚀对策,如优化工艺操作、选用耐腐蚀材料、加注缓蚀剂以及加强设备监测与维护。通过这些措施的实施,可有效降低腐蚀风险,延长设备使用寿命,为汽柴油加氢装置的长期高效运行提供有力保障。

参考文献

- [1]张志庚.汽柴油加氢装置反应流出物系统的腐蚀与对策[J].石油化工建设,2022,44(5):99-101.
- [2]赵勇,周季乾,金浩哲.加氢装置反应流出物系统的腐蚀及选材[J].石油化工腐蚀与防护,2021,38(2):27-31.
- [3]周诗仟.汽柴油加氢装置反应进料泵联锁优化[J].化工设计通讯,2024,50(4):31-33.