

现代化工

关于酮苯装置的腐蚀研究以及应对策略

魏少云

中国石油化工股份有限公司茂名分公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i10.8474

[摘要] 酮苯装置作为润滑油生产的关键装置, 长期面临因原料特性、工艺条件及环境因素导致的腐蚀问题, 严重影响装置安全性与经济性。本文对腐蚀机理进行分析, 并结合工程应用实例说明了酮苯装置的主要腐蚀类型及成因, 提出以材料更换、工艺优化、防腐技术等为手段的总体解决方案, 采用综合手段降低腐蚀率, 提高装置使用寿命。

[关键词] 润滑油; 酮苯装置; 腐蚀机理; 应对策略; 工艺优化; 涂层技术

Corrosion Research and Countermeasures for Ketone-Benzene Units by

Wei Shaoyun

Maoming Branch, China Petrochemical Corporation

[Abstract] As a key unit in lubricant production, the ketone-benzene unit has long faced corrosion issues caused by raw material characteristics, process conditions, and environmental factors, which seriously affect the safety and economy of the unit. This paper analyzes the corrosion mechanism and illustrates the main types and causes of corrosion in ketone-benzene units through engineering application examples. It proposes an overall solution combining material replacement, process optimization, and anti-corrosion technology to reduce corrosion rates and extend the service life of the unit.

[Key words] lubricating oil; ketone benzene device; corrosion mechanism; coping strategy; process optimization; coating technology

前言:

酮苯装置是润滑油基础油生产的核心环节, 通过溶剂脱蜡工艺实现油蜡分离, 但原料中硫、氯、酸性物质等易造成设备腐蚀, 导致管道泄漏、热交换器失效等问题, 威胁生产安全, 增加维修费用。近年来, 随着原油重质化趋势的加剧, 腐蚀问题更加突出。本文结合腐蚀机理研究和工程实践, 分析了酮苯装置的主要腐蚀特征, 提出针对性的解决方案, 以为行业提供理论参考和技术指导。

一、酮苯装置腐蚀机理分析

(一) 原料杂质的影响

酮苯装置的原料油杂质成分主要是糠醛和环烷酸。

糠醛是一种无色至淡黄色的透明液体, 氧化安定性较差, 在氧和高温的共同作用下, 会氧化成过氧糠酸。过氧糠酸是一种氧化剂, 可以使原料油中的不饱和烃氧化成环氧化物, 进而缩合成焦, 这些焦经常造成装置塔底过滤网堵。

环烷酸具有特殊的化学结构, 在一定条件下, 如温度较高且有水存在时, 对碳钢等材料具有较强的腐蚀性。糠酸和环烷酸的酸性混合物会与金属表面发生反应, 形成硫化亚铁(FeS),

破坏金属表面的钝化膜, 使金属基体暴露于腐蚀介质中, 腐蚀过程随之加速。

(二) 溶剂杂质的影响

酮苯装置使用的溶剂(甲苯丁酮的混合物), 在工艺过程中具有一定的腐蚀性。溶剂在高温条件下易氧化, 生成有机酸。这些有机酸在系统内部堆积, 特别是存在水分时, 会形成局部酸性环境, 从而使金属表面特别是在焊接处等受力集中的部位, 腐蚀的可能性更大^[1]。酮苯装置使用的溶剂若质量不合格, 含有水分、酸性物质、铁离子等杂质, 更会使溶剂系统的腐蚀性提高。水分不仅促使有机酸生成, 而且会使电化学腐蚀过程加速。铁离子的存在, 可能会对金属材料产生一定的催化作用, 加速腐蚀进程。

(三) 工艺和操作的影响

酮苯装置的操作温度通常在-25℃~150℃之间, 存在低温工况和高温工况。低温工况会使设备管线长期处于潮湿的环境中, 易对碳钢材料造成腐蚀。例如, 某酮苯装置氨压机中冷器的壳体和出口液氨管以及支撑部位, 设备管线的外腐蚀程度超过30%, 使用2个周期需要更换。高温工况, 化学反应速率加

快，腐蚀介质的活性增强，金属的氧化反应速率明显提高，导致金属表面形成氧化物层，而这些氧化物层在某些情况下不具有很好的保护性能，反而成为腐蚀的催化剂。例如，某酮苯装置回收系统的换热器管板，在检修时发现腐蚀严重，碳钢材料的管板被腐蚀介质侵蚀，金属氧化物一层层脱落。此外，温度的波动也可能导致金属材料微观结构的变化，进一步影响其耐腐蚀性能。例如，酮苯装置过滤机长期处于 $-25^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度波动环境，壳体腐蚀严重，特别是上下壳体接触的密封面因腐蚀不平整，经常出现泄漏溶剂气。

酮苯装置的操作压力通常在 $0.3\text{MPa}\sim 4.0\text{MPa}$ 之间，特别是溶剂系统的压力较高，高压环境会增加腐蚀介质的渗透性，使腐蚀介质更容易进入金属材料的表面缺陷或微观裂纹中，从而导致应力腐蚀裂纹的形成和扩展。此外，高压环境还会对设备的密封性提出更高的要求，一旦密封不严，介质泄漏不仅会造成资源浪费，还会进一步加剧设备的腐蚀。

酮苯装置在实际生产过程中，如果操作条件不稳定，如温度、压力、流速等参数频繁波动，会加速设备的腐蚀。例如，温度的急剧变化会使金属材料产生热胀冷缩，导致设备表面的防腐涂层开裂或脱落，使金属基体暴露在腐蚀介质中；压力的波动会影响腐蚀介质的渗透性和化学反应速率，进而加剧腐蚀；流速过快的介质会对设备内壁产生冲刷作用，使防护膜难以形成或被破坏，导致冲刷腐蚀加剧。

(四) 材料因素的影响

不同的金属材料具有不同的耐腐蚀性能。如果在酮苯装置的设计和选材过程中，没有充分考虑到介质的腐蚀性以及环境、操作条件等因素，选择了耐腐蚀性能不足的材料，就会导致设备在运行过程中容易发生腐蚀。例如，在某酮苯装置的冷冻系统初期采用的是普通碳钢管线，使用过程中不断出现腐蚀泄漏，在后期的不断改造中，把碳钢管逐步更换为不锈钢管，耐腐蚀性能大大提高，至今使用良好，只是其成本相对较高。

在管线的安装过程中，要抓好材料的防腐质量。如果材料的表面处理不当，如除锈不彻底，未达到规定标准要求，表面存在氧化皮、焊渣、毛刺等杂质，会破坏材料表面的保护膜，使基体金属暴露在腐蚀介质中，从而加速腐蚀。焊接质量也是影响设备管线腐蚀的重要因素之一，焊接过程中产生的残余应力、焊缝缺陷等都可能成为腐蚀的源头。例如，未打坡口、焊缝处的咬边、气孔、夹渣等缺陷会降低设备管线的结构强度和耐腐蚀性，在腐蚀介质的作用下，这些部位更容易发生局部腐蚀或应力腐蚀开裂。

(五) 设计因素的影响

早期酮苯装置的设计可能存在一些缺陷或不合理之处，如管道布置不合理，导致介质流速过快或产生湍流，从而加剧对管道内壁的冲刷腐蚀；管线支撑水平搭接部位，未设计管托或支架，或管托支架设计不合理，搭接部位容易积水导致腐蚀；管道设计限位块，使用异种焊接，引起电化学腐蚀；管道设计静电接线板，使用异种钢焊接，引起电化学腐蚀；管道设计有盲端或存在长期不流动管，时间长会造成腐蚀介质集聚而使

管线腐蚀泄漏；设备结构设计不合理，存在一些难以清洁和维护的死角或缝隙，使腐蚀介质容易在此处积聚，造成局部腐蚀严重；应力处理不当，在设备运行过程中，温度变化或压力波动等因素，管道会产生热应力或机械应力，如果这些应力超过了材料的承受能力，就可能导致应力腐蚀开裂等。

二、典型腐蚀类型与案例分析

(一) 均匀腐蚀与局部腐蚀

在酮苯装置中，碳钢设备和管线在冷冻系统多出现均匀腐蚀与局部腐蚀。冷冻系统设备管线长期处于 $-35^{\circ}\text{C}\sim -10^{\circ}\text{C}$ 的低温环境，根据绝热要求需要进行保冷。保冷材料初期使用聚氨酯泡沫材料，密度一般为 $0.8\sim 1.5\text{g}/\text{m}^3$ 左右，导热系数 $0.017\sim 0.022\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 之间，后期改用泡沫玻璃材料。茂名地区空气潮湿，雨水偏酸性，如果保冷施工质量差，水汽易在金属表面凝结，逐步破坏防腐层，进而腐蚀金属表面。从拆开的腐蚀管线来看，有时候是整条管出现均匀腐蚀，有时候是局部出现腐蚀，均匀腐蚀管线表面出现大量锈蚀产物，一层层可以剥落，局部腐蚀管线点蚀坑比较多，最深处可达 $2\sim 3\text{mm}$ 厚。均匀腐蚀会使金属整体厚度降低，从而对设备寿命和使用安全性造成影响，局部点蚀，会使设备管线出现泄漏，严重影响生产。例如，某炼油厂的酮苯装置冷冻系统管线，短短3年内，厚度减薄40%，最终不得不将碳钢管更换为不锈钢管，以改善抗腐蚀能力。在冷冻系统配有湿式表面蒸发器，蒸发器管束材质为10#钢，管束外表镀锌，通过新鲜水对管束进行喷淋降温换热，近年来也不断出现局部腐蚀。新鲜水中的钙、镁等离子及粘土等杂质的不断浓缩，集聚在致密的翅片管束上，形成水垢，水垢部位会发生电化学反应，进而出现管束均匀腐蚀。主要原因是防腐工艺不当，镀锌不均匀，而应采用浸锌工艺。

(二) 冲刷腐蚀

酮苯装置溶剂（溶剂中含蜡质）高速流动而产生的冲刷侵蚀，使得设备部件（弯曲部分或阀门等）出现机械磨损，再加上溶剂与冲刷后的部位发生化学反应，进而加快设备损坏速度。酮苯装置的冲刷腐蚀属于双相流冲刷腐蚀，当溶剂和蜡的流速达到湍流状态时，它们的冲击力和剪切力使金属内表面的保护膜或腐蚀产物不断被冲刷掉，露出新鲜的金属表面，新鲜的金属表面部位与腐蚀产物部位或保护膜部位构成电偶腐蚀，继而发生严重的腐蚀。例如，在某酮苯装置检修过程中，出现几段溶剂管线冲刷腐蚀的情况，管线内壁底部减薄严重，如果没有及时更换会发生严重问题，冲刷腐蚀危害大。在某企业酮苯装置的溶剂回收管线系统中，用碳钢制作的弯头在短短半年时间里出现了严重冲刷腐蚀损坏的情况而不能再用。为了改善这一问题，该企业将弯头改为内衬陶瓷的材质，结果设备使用寿命可以达到三年以上。由此可见，耐磨性防护措施（如采用耐磨材料/涂层）可以提高设备的使用安全性和耐久性^[2]。

三、腐蚀应对策略

(一) 材料优化与升级

1 耐蚀材料选择

对于酮苯装置，对于容易发生腐蚀的溶剂管，如果条件允

许，可以选用耐腐蚀的材料。溶剂管线的材料可以选择双相不锈钢（如 2205）、镍基合金（如 Inconel625）；双相不锈钢具有很好的耐腐蚀性、强度，在高温下能够耐酸；镍基合金耐腐蚀性极好，在高温、高压条件下工作时，可以很好的抵御腐蚀性介质的侵蚀。对于低温部位，一方面可以采用不锈钢管线，另一方面可采用环氧树脂涂层碳钢，在碳钢表面形成一层保护膜，防止腐蚀介质侵蚀。

2 表面处理技术

通过表面处理技术使材料的耐腐蚀性得到显著提高，通过渗氮处理使金属表面形成硬化层，表面硬度增加，从而减少冲刷腐蚀的发生，而喷涂强化技术则通过向金属表面喷涂陶瓷，使其表面状态得到改善，从而达到抗腐蚀的目的。例如，某酮苯装置的套管结晶器传动轴，就是通过强化表面硬度加喷涂陶瓷，传动轴长期使用也不会出现腐蚀。另外，采用化学镀镍（ENP）技术，使镍镀层均匀形成金属表面，对点蚀的抵抗力增强，同时设备的耐用性也得到进一步的提高。

（二）工艺参数优化

1 温度与流速控制

酮苯装置温度影响严重的系统在冷冻、过滤和水溶液回收系统。冷冻和过滤系统的温度因为工艺要求无法优化，水溶液回收系统通过控制温度，可以减少露点腐蚀和酸性腐蚀。将溶剂回收塔塔顶温度控制在 97℃ 以下，让糠醛和水不能共沸，糠醛和水分层，最大限度地排除水溶液系统中的糠醛。控制好溶剂回收塔塔顶温度，有利于糠酸形成的络合物从塔底排出。同时，管道的流速设计应在 3m/s 以下，以减缓冲刷腐蚀的发生，过高的流速会造成管道内壁液体冲刷加剧，从而加快设备磨损腐蚀^[3]。

2 空冷水质控制

酮苯装置水质对换热器管束的腐蚀很关键。要优化水质指标，尽可能使用除盐水，除盐水温度尽可能低，控制除盐水 pH 值在合适范围，降低除盐水中氧含量，控制除盐水电导率在合理范围内。按照每月一次的频率对空冷水质进行全面检测，包括酸度、硬度、氯根、pH 值、铁离子、电导率等指标，以便及时发现问题并调整处理措施。添加阻垢剂和分散剂，防止水中的杂质和微生物在空冷器表面沉积形成污垢，保持水质清洁，避免垢下腐蚀。根据运行情况和水质检测结果，每半年对空冷器进行高压水清洗，去除表面的污垢、沉积物和微生物，恢复换热效率，减少腐蚀风险。

（三）防腐技术应用

1 涂层与衬里

酮苯装置防腐技术中的涂层与衬里是防腐的重要手段，对换热器管束用聚四氟乙烯（PTFE）衬里，耐温 200℃，能够抵抗有机酸的腐蚀，防止腐蚀性介质对金属表面的侵蚀；塔器内壁喷涂聚脲弹性体涂层，不仅具有良好的防腐性能，而且具有一定的弹性，能够适应设备运行过程中的热胀冷缩，提高设备的使用寿命。

2 阴极保护

对于地下管线，实施阴极保护是防止电化学腐蚀的有效手段，建议采用牺牲阳极保护，确保电位维持在 -0.85V~-1.1V。这样可以有效降低管线腐蚀速率，延长其使用寿命，牺牲阳极在腐蚀过程中会优先受到腐蚀，从而保护管线金属结构不受破坏。

3 缓蚀剂注入

在溶剂循环系统中，加入膜胺类缓蚀剂是另一种有效的防腐措施，缓蚀剂浓度控制在 10~15ppm，减少金属表面与腐蚀介质的接触，通过形成疏水保护膜而降低腐蚀速度，这种方法不仅简单易行，而且在设备的耐腐蚀能力上也能得到显著提高，而不需要改变工艺流程。例如，某酮苯装置目前采用在水溶液回收系统加入 KQ-1 缓蚀剂的办法来进行防腐。KQ-1 缓蚀剂是一种含氮有机物，这种含氮有机物带有饱和烃基，该饱和烃基相对稳定，在一般的化学反应条件下不容易发生化学反应，形成了一层防护屏障，减轻腐蚀介质对金属的腐蚀。KQ-1 缓蚀剂具有碱性，可以与糠酸形成络合物，使糠酸绝大部分从塔底排走，降低糠酸对装置的腐蚀。KQ-1 缓蚀剂在常温下可溶于甲苯等溶剂，溶解性较好，可以方便添加。在常温常压下，KQ-1 缓蚀剂具有较好的稳定性，能长时间保持化学结构和性质的稳定，持续发挥缓释作用，目前在该酮苯装置的使用效果良好。

4 防腐材料选择

酮苯装置的内防腐材料一定要选好，因为丁酮甲苯溶剂具有良好的溶解性，基本可以溶解大部分油漆，所以接触溶剂的部位不能选用普通油漆。像酮苯装置的溶剂罐，打砂后防腐，必须使用富锌底漆。因为富锌底漆含有大量的锌粉，锌粉在大气环境中易氧化生成致密的氧化锌层，氧化锌可起到隔绝腐蚀介质的作用；同时，锌粉还能提供电化学保护，当金属基体受到腐蚀时，锌作为阳极被腐蚀，从而保护了金属基体。

（四）监测与维护体系

为及时发现腐蚀问题，可在腐蚀高危区域安装电阻探针或超声波测厚仪，实现在线监测，每两年对腐蚀关键设备进行超声波检测及金相分析，评估腐蚀状态，结合 DCS 数据及监测结果，建立腐蚀预测模型，实现异常工况预警，辅助管理人员进行决策，降低设备故障风险。

结语：

从材料、工艺、防腐技术、监测四方面协同推进酮苯装置的腐蚀防控，采用双相不锈钢升级、缓蚀剂注入、智能监测等措施，可使设备寿命延长 30%~50%、维修成本降低 25% 以上。进一步开展纳米涂层、生物基缓蚀剂等新技术研究，推进腐蚀预测模型智能化，保障酮苯装置长周期运行。

【参考文献】

- [1]江镇海.酮苯脱蜡装置水溶液系统的腐蚀与防护[J].腐蚀与防护, 2019, 30(523): 006-007.
- [2]杨森.润滑油酮苯脱蜡工艺优化与腐蚀防护研究[D].山东大学, 2021, 34(32): 67-68.
- [3]沈艺, 李强, 吕涯, 等.酮苯脱蜡装置溶剂回收系统腐蚀原因和对策[J].腐蚀与防护, 2019, 35(232): 021-022.