

高酸值高硫原油对常压蒸馏设备腐蚀的影响及应对措施

吕联

连云港沃利工程技术有限公司南京分公司，江苏南京

摘要：本文探讨了高酸值高硫原油在常压蒸馏过程中对设备的腐蚀机理及影响，详细分析了酸性成分和硫化物对金属的腐蚀作用，以及这些腐蚀现象对设备性能与寿命的具体影响。文章进一步介绍了腐蚀监测与评估的重要性，包括在线监测技术的应用和定期检测与腐蚀速率评估方法。在防腐蚀技术措施方面，探讨了材料选择与表面处理、工艺优化与防腐蚀设计、以及添加缓蚀剂与化学抑制策略的有效性。最后，通过分析国内典型腐蚀案例，为应对高酸值高硫原油对常压蒸馏设备的腐蚀问题提供了实践指导。本文旨在为炼油行业提供腐蚀防控的参考依据，提升设备运行的安全性和经济性。

关键词：高酸值原油；高硫原油；常压蒸馏设备；腐蚀机理；防腐蚀技术

Effect of High Acid Value and High Sulfur Crude Oil on Corrosion of Atmospheric Distillation Equipment and Countermeasures

Lian Lv

Lianyungang Worley Engineering Co., LTD. Nanjing Branch, Nanjing, Jiangsu

Abstract: This paper discusses the corrosion mechanism and influence of high acid value and high sulfur crude oil on equipment in the process of atmospheric pressure distillation, analyzes the corrosion effect of acid composition and sulfide on metals, and the specific influence of these corrosion phenomena on the performance and life of equipment. The article further introduces the importance of corrosion monitoring and assessment, including the application of online monitoring technology and periodic detection and corrosion rate assessment methods. In terms of corrosion prevention technical measures, the effectiveness of material selection and surface treatment, process optimization and corrosion prevention design, and the addition of corrosion inhibitor and chemical inhibition strategies are discussed. Finally, by analyzing the typical corrosion cases in China, it provides practical guidance for dealing with the corrosion problem of high acid value and high sulfur crude oil on atmospheric pressure distillation equipment. This paper aims to provide a reference basis for corrosion prevention and control in the refining industry, and improve the safety and economy of equipment operation.

Keywords: High acid value crude oil; High sulfur crude oil; Atmospheric distillation equipment; Corrosion mechanism; Corrosion prevention technology

1 引言

随着全球能源需求的不断增长，原油品质的多样化趋势日益显著，高酸值高硫原油的开采与加工成为炼油行业面临的重要挑战。这类原油含有较高的酸性成分和硫化物，对常压蒸馏设备造成了严重的腐蚀问题，不仅影响设备的正常运行，还缩短了设备的使用寿命，增加了维护成本和安全风险。因此，深入研究高酸值高硫原油对常压蒸馏设备的腐蚀机理及影响，并探索有效的防腐蚀技术措施，对于保障炼油行业的安全生产和经济效益具有重要意义。

2 腐蚀机理与影响

2.1 酸性成分对金属的腐蚀作用

酸性成分，如 H_2S （硫化氢）和有机酸，是高酸值高硫原油中极具腐蚀性的元素。 H_2S 是一种强酸性气体，即使在低浓度下也能引起金属表面的电化学反应，导致金属的溶解和结构破坏。在实际操作中， H_2S 可能导致设备的快速减薄，如在某些炼油厂中观察到的年腐蚀速率可高达0.1-0.5毫米。

有机酸，如甲酸和乙酸，同样对金属具有高度侵蚀性，它们能穿透金属表面的保护层，引发深度腐蚀。这些酸分子与金属的相互作用可能导致腐蚀坑的形成和金属疲劳，从而影响设备的机械强度和稳定性。

在炼油过程中，高温环境会加剧这种腐蚀过程，因为高温可以促进酸性物质的活性，甚至引发硫化物的高温腐蚀和应力腐蚀开裂。因此，理解和评估酸性成分对金属腐蚀的影响至关重要，这涉及到在线监测技术的应用，如pH传感器和硫化氢监测设备，以实时监控腐蚀环境。同时，需要通过定期的腐蚀检测和速率评估，结合实验室分析，来预测设备的剩余寿命并及时采取预防措施。

2.2 硫化物的高温腐蚀与应力腐蚀开裂

硫化物的高温腐蚀与应力腐蚀开裂是高酸值高硫原油处理过程中的一大挑战。在高温环境下，硫化物，尤其是硫化氢（ H_2S ）和硫醇，能与金属表面发生化学反应，形成腐蚀性的硫化物膜，导致金属结构的快速破坏。例如，在炼油厂的常压蒸馏设

备中，这种腐蚀可能导致壁厚减薄，影响设备的正常运行和安全性。此外，由于设备在高温高压下工作，硫化物还会引发应力腐蚀开裂，即在机械应力和腐蚀介质的共同作用下，金属内部产生裂纹并扩展。这种现象在2004年某国内大型炼油厂的事故中得到了验证，由于未及时发现和控制硫化物腐蚀，导致裂纹扩展并最终发生设备失效，造成了重大经济损失和生产中断[1]。

为了深入理解这一过程，科研人员建立了腐蚀模型，如硫化物诱导的局部酸化模型，解释了在局部区域内，由于硫化物的反应导致pH值下降，加速了腐蚀的局部化和裂纹的形成。这些理论模型对于优化防腐蚀策略和设计更耐腐蚀的材料提供了理论指导。

因此，对于高酸值高硫原油的处理，必须采取针对性的防腐蚀措施，如选用耐硫化物腐蚀的合金材料，或者在设备表面施加耐高温、抗腐蚀的涂层。同时，结合工艺优化，如控制流速以减少机械应力，以及定期添加缓蚀剂，可以有效防止和延缓硫化物导致的高温腐蚀与应力腐蚀开裂，确保设备的长期稳定运行。

2.3 腐蚀对设备性能与寿命的影响

腐蚀是常压蒸馏设备面临的主要挑战之一，它会显著降低设备的性能和使用寿命。高酸值高硫原油中的酸性成分，如 H_2S 和有机酸，会持续侵蚀金属表面，导致材料强度下降和机械性能恶化。据研究，未受保护的碳钢在高浓度 H_2S 环境下，其腐蚀速率可能增加数倍，大大缩短设备的正常运行时间。此外，硫化物在高温下会加速金属的氧化，促进局部腐蚀，甚至引发应力腐蚀开裂。这种类型的腐蚀往往难以预测，一旦发生，可能导致设备突然失效，带来严重的生产中断和高昂的维修成本。

腐蚀对设备性能的影响不容忽视，腐蚀产物的积累会增加设备的运行阻力，降低热交换效率，影响原油的处理能力。在某些情况下，腐蚀可能导致设备的结构完整性丧失，影响其安全运行。因此，对腐蚀的深入理解和有效控制是保障炼油设备长期稳定运行的关键，也是企业实现可持续发展的重要环节。

3 腐蚀监测与评估

3.1 在线监测技术的应用

在线监测技术在高酸值高硫原油处理中起着至关重要的作用，能够实时监控设备的腐蚀状况，预防严重事故的发生。例如，pH监测系统可以连续测量原油中的酸性水平，确保在酸性成分超标时及时调整工艺条件或添加中和剂。在某国内大型炼油厂，通过pH监测，成功将酸性环境引起的腐蚀降低30%，显著延长了设备的使用寿命。

另一方面，硫化氢监测技术对于检测高温下可能产生的硫化物至关重要。硫化氢是一种高度腐蚀性的气体，其浓度变化直接影响腐蚀速率。例如，通过安装高灵敏度的硫化氢传感器，某炼油设施能够在浓度上升至危险阈值前进行预警，从而采取预防措施，避免了因突发性腐蚀导致的非计划停机，提高了生产安全性。此外，现代监测技术还结合了数据分析和预测模型，通过对历史数据的分析，可以预测腐蚀趋势，实现预防性维护。比如，通过机器学习算法，某炼油企业构建了腐蚀预测模型，准确率超过90%，提前识别出高风险区域，大大减少了因腐蚀引发的设备故障和维修成本[2,3]。

这些实例充分证明，在线监测技术的应用不仅能够实时保护常压蒸馏设备，减少腐蚀损害，还能通过数据驱动的决策支持，优化运营策略，确保炼油过程的稳定和经济性。因此，加强在线监测技术的研发和应用是应对高酸值高硫原油腐蚀问题的关键措施之一。

3.2 定期检测与腐蚀速率评估方法

定期检测与腐蚀速率评估是确保常压蒸馏设备安全运行的关键环节。通过定期的腐蚀检查，可以及时发现设备的异常磨损，防止小问题演变成重大事故。例如，采用超声波测厚技术，可以精确测量设备壁厚的变化，根据API RP 574标准，当腐蚀速率超过0.127 mm/year时，就需要采取干预措施。

在实际操作中，腐蚀速率的评估往往与腐蚀监测数据的长期积累和建立腐蚀预测模型相结合。比如，中石化某炼油厂通过多年监测数据，构建了基于机器学习的腐蚀预测模型，有效预测了未来3-5年的腐蚀趋势。这种模型可以为设备的维护周期提

供科学依据，避免因过度保守或疏忽导致的设备失效。同时，定期的腐蚀监测数据也可以用于验证防腐措施的效果，如更换防腐涂层后，通过对比腐蚀速率的变化，可以确认新涂层的保护性能是否达到预期。

在评估过程中，不应忽视的是腐蚀的不均匀性。某些局部区域可能由于流场、温度或化学物质浓度的特殊性而加速腐蚀。因此，定期的目视检查和非破坏性检测是必要的，以发现可能的应力集中和腐蚀凹坑，这些都可能是应力腐蚀开裂的前兆。定期检测与腐蚀速率评估的目的就在于早期发现、早期干预，以延长设备的使用寿命，减少因腐蚀引发的非计划停车和昂贵的维修成本。

4 防腐蚀技术措施

4.1 材料选择与表面处理

在防腐蚀技术措施中，材料选择与表面处理是至关重要的环节。耐蚀合金因其内在的化学稳定性和耐腐蚀性能，常被用于制造高酸值高硫原油处理设备的关键部件。例如，Incoloy 825和哈氏合金C-276等材料，它们能有效抵抗硫化物和酸性环境的侵蚀，确保设备在恶劣工况下的长期稳定运行。在一些实际应用中，这些合金的使用已显著延长了设备的维修周期，降低了维护成本。此外，涂层技术也是增强设备抗腐蚀能力的有效手段。通过采用热喷涂、化学镀或物理气相沉积（PVD）等方法，可以在设备表面形成一层致密的保护膜。例如，使用Al-Si合金涂层可以防止硫化物引发的局部腐蚀，而氟碳涂层则能提供优异的化学稳定性和抗磨损性能。在一项国内炼油厂的研究中，采用特殊涂层处理的储罐内壁腐蚀速率降低了80%以上，显著提高了设备的使用寿命。

在选择材料和涂层时，需结合腐蚀机理进行详细分析，利用腐蚀预测模型评估不同材料在特定工况下的耐蚀性能。这通常涉及到对腐蚀环境的化学成分、温度、压力等参数的综合考虑，以确保所选防护策略的针对性和经济性。因此，材料选择与表面处理不仅依赖于先进的材料技术，更需要深入的腐蚀科学知识和实践经验。

综上所述，通过合理选择耐蚀合金并结合适当的表面处理技术，可以显著增强常压蒸馏设备抵

抗高酸值高硫原油腐蚀的能力，从而降低设备故障率，保障生产安全，减少因腐蚀引发的经济损失。

4.2 工艺优化与防腐蚀设计

在防腐蚀设计中，工艺优化扮演着至关重要的角色。以热处理为例，通过对常压蒸馏设备的组件进行预处理，如淬火和回火，可以显著提高材料的耐蚀性能。例如，研究显示，对高硫原油接触的管道进行氮化处理，可以增强其表面硬度，从而抵抗硫化物的侵蚀。此外，优化热处理工艺参数，如控制冷却速度，可以减少因热应力导致的腐蚀裂纹形成。

流速控制是另一个有效的防腐蚀策略。在原油输送过程中，过高的流速会加剧流体湍流，从而增加对金属壁的冲刷腐蚀。同时，流速的控制也有助于减少沉积物的形成，这些沉积物可能含有腐蚀性物质，加速设备的腐蚀破坏。

在设计阶段，采用仿真模拟分析也是工艺优化的重要手段。利用腐蚀预测模型可以预测不同工况下设备的腐蚀行为，指导设计出更耐腐蚀的结构。例如，通过模拟，可能发现某些区域由于流场复杂性导致的腐蚀热点，从而在设计上进行改进，如增加保护性内衬或改变流体导向设计，以减少腐蚀风险。引用这些策略并结合实际操作经验，可以实现对高酸值高硫原油处理设备的腐蚀有效控制，延长设备寿命，同时确保生产安全和经济效益。

4.3 添加缓蚀剂与化学抑制策略

在防腐蚀技术措施中，添加缓蚀剂与化学抑制策略是控制高酸值高硫原油对常压蒸馏设备腐蚀的重要手段。缓蚀剂是一种能够显著降低金属腐蚀速率的化学物质，它能在设备表面形成保护膜，阻止腐蚀介质与金属直接接触。例如，四氨络铜（ CuCN ）和亚硝酸盐类缓蚀剂已被广泛应用于石油炼化行业，它们能在高温环境下稳定存在，提供有效的防腐保护。此外，化学抑制策略包括选择性抑制某些腐蚀反应，如通过添加磷酸盐来抑制硫酸盐的氧化，从而减少硫酸盐腐蚀。在实际操作中，企业会根据设备材质、原油性质和工作条件，通过实验确定最佳的缓蚀剂配方和添加量。例如，中国石化某炼厂通过调整缓蚀剂配方，成功将腐蚀速率

降低了70%以上，显著延长了设备的检修周期。

在应用缓蚀剂和化学抑制策略时，还需要结合数学模型进行预测分析，以优化防腐效果。这些模型可以考虑多种因素，如温度、压力、流速和腐蚀介质浓度，以预测缓蚀剂的保护效果和使用寿命。通过模型预测，可以实现缓蚀剂的精准投加，避免过度使用带来的经济和环境负担[4,5]。

综上所述，添加缓蚀剂与化学抑制策略是综合防腐体系的关键组成部分，它们通过科学的配方设计、精确的投加控制和模型预测，为高酸值高硫原油的处理提供了经济、有效的防腐解决方案。

5 国内典型腐蚀案例分析

在实际操作中，国内一些炼油厂曾遇到过由于高酸值高硫原油导致的严重腐蚀问题。例如，某炼油厂在处理这类原油时，由于未充分预处理，酸性成分与设备中的金属发生化学反应，导致设备壁厚在短时间内减薄30%以上，严重影响了设备的正常运行和使用寿命。这种情况下，腐蚀不仅加速了设备的物理损坏，还引发了多次设备故障，造成了显著的生产中断和经济损失，据估计，每年因腐蚀问题导致的直接和间接损失高达数亿元人民币。

案例分析表明，腐蚀监测系统的及时介入至关重要。在上述案例中，如果能早期实施在线pH监测和硫化氢检测，可能就能更早发现腐蚀加剧的迹象，从而采取针对性的防腐蚀措施。此外，定期的腐蚀检测和评估也必不可少，通过无损检测技术如超声波测厚和腐蚀挂片法，可以准确评估腐蚀速率，为防腐蚀决策提供数据支持。

针对这类问题，后续的防腐蚀策略调整包括选用更耐蚀的合金材料，如含镍铬的超级双相不锈钢，以及采用耐高温、抗硫化物腐蚀的涂层。同时，优化工艺流程，如增加预脱硫步骤，控制流速以减少湍流引发的局部腐蚀，也能显著提高设备的抗腐蚀能力。在某些情况下，添加特定的缓蚀剂，如胺类化合物，可以在不改变工艺参数的前提下，有效抑制原油中的酸性成分对金属的腐蚀作用。

通过上述案例的深入分析和学习，国内炼油行业对高酸值高硫原油的腐蚀问题有了更深刻的认识，也积累了宝贵的实践经验，为未来类似问题的预防和解决提供了有力的参考和指导。

6 结语

将来随着炼油技术的不断进步和防腐蚀技术的持续创新，我们有理由相信，高酸值高硫原油对常压蒸馏设备的腐蚀问题将得到有效控制。通过加强腐蚀机理的研究，优化腐蚀监测与评估手段，以及不断探索和实践新的防腐蚀技术措施，国内炼油行业将能够进一步提升设备的安全性和可靠性，保障生产的稳定进行。我们有信心，在未来的发展中，高酸值高硫原油的腐蚀问题将不再是制约炼油行业发展的瓶颈，而是成为推动行业技术创新和产业升级的重要动力。

参考文献

- [1] 张维, 李淮志, 王韬. 高酸值高硫原油腐蚀机理研究进展[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2020, 37(5):1-6.
- [2] 赵清林. 炼油设备防腐蚀技术研究进展[J]. 石油炼制与化工, 2021, 50(10):101-106.
- [3] 杨培昕. 在线监测技术在炼油厂腐蚀监测中的应用[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2021, 30(4):425-430.
- [4] 李明, 张伟, 刘涛. 高硫原油加工过程中的腐蚀控制策略[J]. 炼油技术与工程, 2022, 52(2):54-59.
- [5] 孙雷, 李静, 赵雷. 原油中酸性成分对金属材料的腐蚀行为研究[J]. 材料保护, 2023, 56(3):12-17.

