

废酸再生装置检维修实践问题探究

刘文彬

中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司, 山东 淄博 255400

DOI: 10.61369/SSSD.2026040028

摘 要 : 湿法废酸再生系统, 作为烷基化工艺的环保配套设施, 能够将烷基化过程中产生的废弃硫酸转化成98% (wt) 的高浓度硫酸, 实现废酸的循环利用与零排放。湿法废酸再生系统面临着众多挑战。特别是系统运行阶段, 设备部件直接与酸性环境接触, 频繁遭受腐蚀问题。同时, 废酸再生过程中产生的热量管理同样不容忽视, 必须采纳有效措施以控制热量, 防止过热导致的设备故障或安全事故。废酸成分的复杂性与多变性, 为再生工艺的精确控制带来了更为严格的要求。采用先进的防腐蚀技术, 设计并构建一套科学合理的热交换系统, 高效回收和利用废酸再生过程中产生的热量, 或引入自动化控制系统, 都可以很好的提高系统的稳定性及整体再生效率。本文旨在提高湿法废酸再生系统的运行效率及安全性, 并对相应的解决策略进行探讨, 该方法有助于推动烷基化工艺向环保方向的转变, 为促进工业生产的可持续发展作出重要贡献。

关 键 词 : 废酸再生; 熔盐换热; 换热器腐蚀

Exploration of Practical Issues in the Maintenance and Repair of Waste Acid Regeneration Units

Liu Wenbin

Qilu Branch of China Petroleum & Chemical Corporation, Zibo, Shandong 255400

Abstract : The wet waste acid regeneration system, as an environmentally friendly supporting facility for the alkylation process, can convert the waste sulfuric acid generated during the alkylation process into 98% (wt) high concentration sulfuric acid, achieving the recycling and zero emission of waste acid. The wet process waste acid regeneration system faces numerous challenges. Especially during the system operation phase, equipment components come into direct contact with acidic environments and frequently suffer from corrosion problems. Meanwhile, the heat management generated during the waste acid regeneration process cannot be ignored, and effective measures must be taken to control the heat and prevent equipment failures or safety accidents caused by overheating. The complexity and variability of waste acid components have brought stricter requirements for precise control of regeneration processes. By adopting advanced anti-corrosion technology, designing and constructing a scientifically reasonable heat exchange system, efficiently recovering and utilizing the heat generated during the waste acid regeneration process, or introducing an automated control system, the stability and overall regeneration efficiency of the system can be greatly improved. This article aims to improve the operational efficiency and safety of the wet process waste acid regeneration system, and explore corresponding solutions. This method can help promote the transformation of alkylating processes towards environmental protection and make important contributions to the sustainable development of industrial production.

Keywords : waste acid regeneration; molten salt heat exchange; corrosion of heat exchanger

一、装置工艺简介

(一) 工艺原理

废酸再生装置利用高温焚烧分离其中无机物杂质实现浓硫酸的再生。燃料气与热空气经过主燃烧器喷入焚烧裂解炉内燃烧, 废酸与净化压缩空气一起经过酸枪喷入焚烧裂解炉内裂解生成二氧化硫、二氧化碳和水蒸汽等, 同时放出大量热量, 将焚烧裂解炉内温度维持在1000℃左右。本文以 P&P 公司 SOP (湿法氧化

制酸) 工艺为例, 进行讲解, 该装置工艺处理烷基化装置产生的废硫酸, 转化成98% (wt) 的高浓度硫酸。

(二) 工艺特点

采用的主要工艺是湿法氧化制酸工艺, 以硫酸裂解炉为关键设备, 在高温环境中将废酸分解, 生成二氧化硫。废酸经过焚烧产生的气体未经脱水处理, 直接在富含水蒸汽的环境下通过一级反应器实现二氧化硫的催化氧化, 转化为三氧化硫。随后, 三氧化硫与气体中的水蒸汽结合, 冷凝形成产品为 $w(\text{H}_2\text{SO}_4) > 98\%$

的浓硫酸^[1]，如图1所示。整个装置的反应平衡依赖于热熔盐，并通过汽包副产蒸汽。硫酸产品的浓度主要取决于冷凝温度下的气液平衡状态，通常可制得浓度超过98%的硫酸。工艺气在经过两级反应后，通过向二级反应器的硝化床层注入氨水，确保尾气中的二氧化硫、氮氧化物等污染物指标达到排放标准，安全排放至大气中。具体流程见图1。

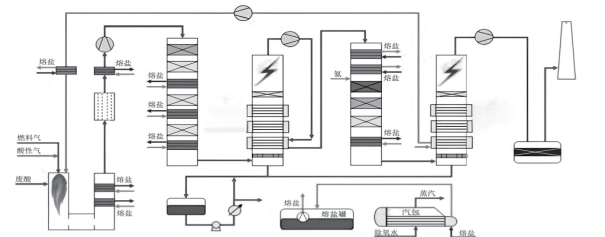


图1 装置流程图

二、装置检维修问题分析

为确保烷基化装置能够持续满负荷运作，废酸再生系统需维持进料量稳定和大气排放合格。近年废酸再生系统频繁遭遇腐蚀等问题^[2-5]，问题主要集中在一级、二级反应器的熔盐换热器部位，且随着时间的推移问题日益严重，已对烷基化装置的顺畅运作产生了显著影响。分析废酸再生系统的运作机理，并采纳相应的优化策略与预防措施^[6-7]，已成为当务之急。

（一）一级反应器 E322 管束腐蚀泄漏的处理

在废酸再生装置运行的过程中，若突发高架源氮氧化物浓度出现异常攀升，为提升脱硝效率，车间人员即时会对氨水注入量进行调整。在车间人员联系维护团队进行高架源仪表校验，确认仪表正常后，现场对注氨系统运行状况进行检查，若运行状态良好，应及时对氨水进行采样并分析。若观察到熔盐罐液位缓慢降低，可以初步分析为熔盐换热器存在微小泄漏，从而导致氮氧化物异常升高的现象，之后应立刻停止装置运行并对换热器进行彻底检查。通过测量换热器前后氮氧化物含量变化定位泄露位置。打开人孔检查换热器内部床层情况，抽出换热器检查管束是否存在漏点。还应分析熔盐换热器管束腐蚀泄漏原因，排除换热器上部折流板灰尘堆积堵塞翅片造成工艺气流通不畅、熔盐侧阀门开度导致熔盐偏流、工艺气流道变化形成低温区造成露点腐蚀等因素。

（二）高温过滤器滤芯堵塞的处理

废酸再生装置高温过滤器差压异常变化、平均温度下降，多次反吹无效，判断滤芯堵塞，工艺气流通不畅，焚烧炉压力控制困难。经过分析，该情况是高温过滤器滤芯堵塞导致工艺气流通不畅、焚烧炉压力异常，切除过滤器后检查发现滤芯表面附着盐类致密层，元素分析含硫、钾、铁等元素，判断为前期熔盐换热器内漏导致盐类沉积，造成差压增大^[8]。检修时需取出滤芯清理表面盐层，重复利用未损坏滤芯，补充新滤芯。高温过滤器滤芯在长期使用后，清理操作反而会加剧其损伤，存在断裂风险，可能导致工艺气带尘进入反应器，造成系统压降升高。

该情况下的具体优化措施为在运行中监控高温过滤器反吹下灰情况、温度及压力，温度异常时切除检查，更换损坏滤芯及滤布。

（三）二级反应器底部换热器 E342B 下大量熔盐泄漏的处理

1. 事件经过及分析

检修期间打开装置反应器熔盐换热器人孔检查运行情况，发现底部换热器存在熔盐泄漏，抽出检查确认漏点后回装备用换热器。打开高温过滤器顶部发现吸附剂板结严重且吸附熔盐，筛分出熔盐颗粒。检查反应器催化剂床层，部分床层催化剂板结导致压降增大、工艺气流通受阻，对其进行筛分处理。

2. 优化措施

通过换热器漏点排查积累经验，结合运行参数变化，后续重点关注易腐蚀部位换热器，准确判断泄漏换热器。

日常生产中加强高温过滤器吹灰效果监控，通过负压、温度等参数判断滤芯表面熔盐吸附情况。硫酸系统盐含量积累时，建议置换高盐硫酸。

（四）高架源 NO_x 异常升高的处理

1. 事件经过

废酸再生装置曾出现高架源 NO_x 异常升高的情况，但在车间人员提高氨水加注量后，指标仍未明显下降。为避免小时均值超标，工作人员第一时间采用了改新风模式、切除进料、酸系统自循环等应急措施。但后续一级反应器到一级冷凝器的短节底部存在漏点，经测定，泄漏物为与酸反应后的熔盐，且进一步观察到熔盐罐液位有明显下降，根据这些指征可以最终确定是该段熔盐换热器发生泄漏。故而立即准备急停熔盐系统进行抢修。这种情况的发生启发车间工作人员，熔盐换热器的泄漏可能会直接引发环保指标异常，后续需重点关注相关区域的运行状态，提前做好应急处置预案。

2. 过程分析

在处理高架源 NO_x 异常升高的情况时，车间人员应先通过环保表确认数据准确性，发现单纯提高氨水加注量无法有效降低指标。为避免小时均值超标风险，我们用便携式烟气检测仪在不同点位检测工艺气成分，通过对比高温过滤器与反应器至冷凝器短节处的 NO/NO₂ 含量差异，初步锁定了一级反应器熔盐换热器的泄漏问题。后续拆解检查验证了这一判断——短节底部确实存在与酸反应后的熔盐泄漏，且熔盐罐液位明显下降。针对该问题，我们立即启动了熔盐系统急停抢修流程。这次经历让我们意识到，工艺气成分的点位对比检测是快速定位泄漏的有效方法，后续可将其纳入应急排查的标准步骤。

一级反应器熔盐换热器 E323 曾多次出现泄漏问题，平均使用寿命仅一年半。每次熔盐泄漏后的紧急抢修都要投入大量人力物力。对于这类关键换热设备，一旦出现漏点，直接更换新设备是最稳妥的解决方案，能从根本上避免重复抢修的资源浪费和安全风险。

3. 优化措施

保护熔盐换热器的工艺要点一是明确废酸再生装置的最低加工负荷，确保系统在稳定工况下运行；二是高温过滤器吹灰时严

格禁止降量操作，避免因气流波动加剧设备磨损；三是将一级、二级冷凝器的出口温度控制在合理区间，通过稳定温度减少管线的露点腐蚀，从而延缓 E323、E342 等关键设备的腐蚀速率。在设备管理方面，车间人员仍需建立提前备货机制，当换热器达到使用寿命或出现严重漏点时，直接更换新设备，彻底避免了因无备用设备导致的抢修延误问题。

日常生产中，我们会重点关注一级静电除雾器 S330 的电流运行状态。一旦发现电流波动，会立即到现场查看 S330 面板的火花数变化，若情况异常则及时切换新风模式进行处理。同时，我们也建议提前备好一级静电除雾器的阳极筒备件，确保在需要时能快速更换，保障设备连续稳定运行。

三、结语

废酸再生装置的稳定运行不仅是满足环保合规要求、保障上游烷基化装置连续生产的核心支撑，更是化工行业践行碳中和目标、推动人类社会可持续发展的关键一环。本文结合装置运行实践，梳理了生产过程中出现的典型异常情况，明确长周期运行需重点聚焦硫酸腐蚀、熔盐堵塞、高架源超标三大核心问题。从实际工况出发，通过密切监控关键参数，总结形成系统性处置经验，建立“问题分析—方案制定—持续优化”的闭环管理机制，为装置安全、稳定、高效运行筑牢基础，助力企业在绿色转型中实现经济与环境效益的协同提升。

参考文献

[1] 田强. 激光氧含量分析仪在废酸再生装置的应用及优化 [J]. 齐鲁石油化工, 2022, 50(2): 134-139.

[2] 朱银松. 废酸再生装置腐蚀原因分析及预防措施 [J]. 石油化工技术与经济, 2024, 40(01): 43-46.

[3] 朱彦昊. 影响废酸再生装置长周期运行的问题及解决措施 [J]. 硫酸工业, 2024, (02): 52-56.

[4] 朱银松. 废酸再生装置腐蚀原因分析及预防措施 [J]. 石油化工技术与经济, 2024, 40(01): 43-46.

[5] 祝文振. P&P 废酸再生装置高温烟气过滤器运行问题分析与改进 [J]. 炼油技术与工程, 2023, 53(03): 50-53.

[6] 钱铎, 胡进旭, 索凌云, 等. 废酸再生装置高温陶瓷过滤器存在问题原因分析及处理措施 [J]. 中国设备工程, 2022, (S2): 348-350.

[7] 高伟, 杜涛, 张灵. 550kt/a 烷基化装置废酸管线堵塞分析研究 [J]. 硫酸工业, 2021, (10): 16-18.

[8] 董宇博, 李嘉浩, 朱洪正. 某电厂调速器油泵出口双筒过滤器滤芯烧灼原因分析及处理 [C]// 中国电力技术市场协会. 2024 年电力行业技术监督专业技术交流研讨会优秀论文集. 华能澜沧江水电股份有限公司糯扎渡水电厂; 2024: 337-341.