

酸雾吸收塔脱硝剂 pH 值的影响因素及控制研究

韩子傲¹ 薄 健¹ 蔡一鸣² 马 跃¹ 韩巧凤¹

1.攀钢集团沈阳钛金属新材料有限公司 辽宁 沈阳 110108

2.鞍钢栗田（鞍山）水处理有限公司 辽宁 鞍山 114000

【摘 要】：酸洗车间湿法脱硝系统 pH 控制回路多依据额定工况设计，机组变负荷运行时，脱硝系统存在非线性、大滞后特性，浆液 pH 难以精准调控，现有控制系统无法长期全自动投运，人工调节模式运维成本高、处理稳定性差。浆液 pH 是决定湿法脱硝效率的核心工艺参数，pH 偏离工艺区间将直接降低污染物去除效果，引发药剂无效损耗。本文结合四级分段式酸雾吸收塔工艺流程，明确各级塔药剂最优 pH 控制区间，系统分析烟气流、烟气 NO_x 浓度两大关键干扰因素对浆液 pH 的影响规律；设计一套由在线 pH/ORP 采集装置、振动式碱片投料机构、时序电气控制系统组成的 pH 闭环自控系统，并针对调节滞后、碱片受潮卡料两大现场难题提出设备密封与时序逻辑优化方案。现场应用结果表明，优化后的控制系统可稳定维持各塔浆液 pH 在工艺设定区间，脱硝效率稳定达标，药剂消耗量显著降低，自动化程度与运行经济性大幅提升，可为同类酸洗废气脱硝系统 pH 自动控制改造提供工程参考。

【关键词】：湿法脱硝；酸雾吸收塔；浆液 pH；自动控制；工艺优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.070

引言

近年来国内大气污染物排放标准日趋严格，酸洗行业产生的含氟化氢、氮氧化物酸雾废气治理要求持续提升，湿法多级吸收工艺因处理效率高、适配性强，成为酸洗废气脱硝主流技术路线。吸收塔内部药剂浆液 pH 直接决定吸收、氧化、还原药剂活性，是制约系统脱硝性能的核心指标。

现有酸洗车间脱硝 pH 控制系统均以机组额定工况为设计基准，在稳定负荷下控制效果良好，但实际生产中酸洗产能、酸液温度、酸液配比频繁变动，烟气流与 NO_x 浓度持续波动，系统呈现典型非线性、纯滞后特征，pH 调节超调、失稳现象频发，自控系统难以连续投用，只能依靠人工定时投加碱片调节 pH，存在劳动强度大、pH 波动幅度大、脱硝效果不稳定、药剂浪费严重等问题。

当前国内外针对火电厂脱硫塔浆液 pH 控制优化研究较多，但针对酸洗行业四级分段式氧化还原脱硝吸收塔的 pH 分区控制、现场适配型低成本自控成套设备研究较少。为此，本文结合现场生产工况，梳理多级吸收塔工艺 pH 控制标准，剖析浆液 pH 波动核心诱因，开发适配现场工况的 pH 闭环自动控制系统，并解决设备运行痛点，实现全负荷区间浆液 pH 稳定可控，保障烟气稳定达标排放。

1 多级酸雾吸收塔脱硝工艺及各塔 pH 控制要

1.1 四级逆流喷淋脱硝工艺流程

酸洗工序产生的含 HF、NO_x 废气经引风机送入四级串联净化塔，废气自塔底向上流动，与塔顶喷淋药剂逆流接触，在填料层完成气液传质与污染物反应，分级实现 HF 吸收、NO 低价氧化、NO 还原脱除，工艺流程及流程图如下：

(1) 一级净化塔：喷淋碱性 M1 吸收液，完全吸收废气

中氟化氢，同步脱除大部分高价氮氧化物，废气经喷淋降温，为后端氧化反应创造低温有利条件；

(2) 二级、三级氧化塔：喷淋 M2 氧化性药剂，将难溶于水的低价 NO 氧化为易溶于水的高价 NO_x，氧化产物与浆液反应生成硝酸盐留存于液相；

(3) 四级还原塔：喷淋 M3 还原性药剂，对前序工序未完全去除的残余 NO_x 进行还原反应，将污染物转化为无毒 N₂，净化后烟气经引风机、烟囱高空排放；

(4) 各塔循环浆液定期外排至污水处理站统一处置。

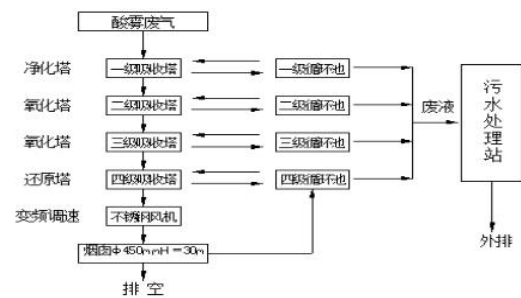


图1 酸洗废气净化处理工艺流程图

1.2 各级吸收塔药剂最优 pH 控制区间

不同功能塔药剂反应机理存在差异，对应最优 pH 区间不同，pH 偏离区间将直接降低药剂活性、增加药剂损耗，各级塔控制标准如下：

(1) 一级 HF 吸收塔：工艺控制 pH=12~14，强碱性环境保证氟化氢充分吸收；

(2) 二、三级氧化塔：最优 pH=5~7，该酸碱度下氧化剂 ORP 数值达到最佳区间；若浆液 pH 降至 1~5，M2 氧化药剂会

快速分解失效，大幅提升运行成本；若浆液 PH 在 8 以上浆液的氧化性低活性降低，吸收效果不佳。

(3) 四级还原塔：维持 $\text{pH} \approx 14$ 强碱性环境，保障 M3 还原剂还原活性，实现残余 NO_x 深度脱除。



图 2 M2 浆液 PH 值与 ORP 数值关系

如图 2 所示 M2 浆液 pH 与 ORP 数值呈负相关变化，pH 越低，ORP 检测数值越高，浆液活性越高吸收效果越好，由于浆液本身特性 PH 低时还易分解，因此通过同步监测 pH、ORP 双参数可实时判断药剂活性，稳定控制浆液 pH 是保障浆液反应效率的基础前提。

2 脱硝浆液 pH 主要影响因素分析

现场工况下，浆液 pH 波动由前端酸洗工艺产生的烟气条件变化主导，核心干扰因素分为烟气体量、烟气 NO_x 浓度两类。

2.1 烟气体量波动（主要外部干扰）

影响浆液 pH 值的关键因素是反应进入塔内的烟气含量高低，假如不改变吸收塔所进入的浆液流量大小，进入的烟气含量越多，对浆液 PH 值产生的影响越大，pH 值越小，相反则越大。一般情况下，由于酸洗品种的不同在酸洗过程中产生的反应热量也不同及环境温度的不同导致酸液温度也不同，那么烟气体量也随其变化频繁，因此酸液的温度可以通过酸降温装置控制在合理范围，避免酸温过高，产生大量酸雾，故对于浆液 pH 值来说，烟气体量的变化是最重要的外界干扰因素。

2.2 烟气 NO_x 浓度波动

当产生的烟气体量稳定时，酸洗槽硝酸配比、酸液浓度改变也会提升 NO 、 NO_2 生成量，烟气 NO_x 浓度上升，碱性药剂消耗速率加快，浆液 pH 波动幅度显著增大。为削弱该因素影响，生产现场需建立酸液浓度常态化检测制度，稳定前端酸洗工艺参数，从源头控制 NO_x 浓度剧烈波动。

3 脱硝浆液 pH 闭环自动控制系统设计与优化

3.1 系统整体组成与调节原理

整套 pH 自控系统为闭环调节结构，分为 pH/ORP 信号采

集单元、碱片自动投加单元、电气控制单元三大部分，调节逻辑如下：在吸收塔浆液回流管道安装检测探头，工业 pH/ORP 在线控制器实时采集浆液 pH 实测值，控制器将实测数值与工艺设定 pH 阈值对比，输出控制信号至电气系统；当实测 pH 低于设定下限，控制系统启动直线振动投料器投加碱片提升浆液碱度；探头实时持续检测，当 pH 回升至设定标准区间，控制系统停止投料，实现浆液 pH 全自动稳定调节。

(1) pH 采集装置：PC-6750 型工业 pH/ORP 在线控制仪，配套浸入式检测探头，实时输出标准控制信号；

(2) 碱片投料装置：储料漏斗+XLB-160 直线振动送料器，依靠振动实现碱片均匀投料；

(3) 电气控制单元：DH48S-S 循环延时继电器、SDVC20 直振驱动器、中间继电器、运行/报警指示灯、手动点动按钮、空气开关等电气元件，搭建完整控制回路。



图 1 设备外形图



图 2 控制面板

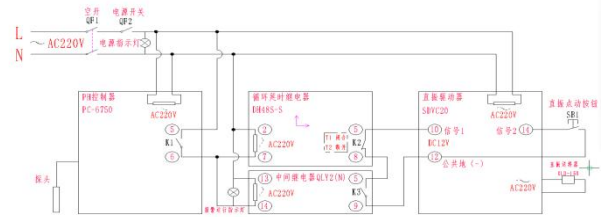


图 3 控制电路图

3.2 系统原有运行难点

(1) 调节大滞后问题：碱片投入浆液后溶解、中和反应存在时间延迟，pH 数值变化滞后于投料动作，易出现过投加、pH 超调现象，单纯开关量控制难以精准匹配 pH 变化节奏；

(2) 碱片卡料故障：碱片暴露于空气中易吸潮硬化结块，堵塞振动投料器下料口，导致自动加药中断，pH 持续走低。

3.3 针对性优化改造方案

(1) 时序控制优化解决滞后问题：采用低成本循环时间继电器搭配直振驱动器，设置分段间歇投料逻辑，通过控制振动投料启停时长匹配 pH 反应滞后特性，无需复杂 PLC 系统即可实现精准微量加碱，设备造价低、后期维护便捷；

(2) 投料机构密封改造解决卡料问题：对碱片储存漏斗、

振动送料整机做全封闭密封防护,隔绝空气水汽;同步优化自动投料时序,减少碱片静置受潮时长,彻底消除碱片硬化卡阻故障,保障自动加药连续稳定运行。

4 应用效果与结论

4.1 应用效果

经设备改造与控制逻辑优化后,该套 pH 自动控制系统可长期全自动稳定投运,无需人工值守调节碱片投加量,大幅降低现场运维工作量;各级吸收塔浆液 pH 稳定维持在工艺设计区间,药剂活性充分发挥,系统脱硝效率稳定满足国家大气污染物排放标准;氧化药剂分解损耗显著减少,碱片消耗量下降,整体废气处理运行能耗与药剂成本明显降低,设备故障率大幅减少。

4.2 结论

(1) 多级酸洗脱硝吸收塔各级药剂功能不同,需分区管控 pH: 一级塔 pH 12~14、二三级氧化塔 pH 5~7、四级还原塔 pH $\approx$ 14, 偏离区间会大幅削弱脱硝性能、造成药剂浪费;

(2) 烟气量、烟气 NO_x浓度是浆液 pH 波动两大核心干扰因素,稳定前端酸洗工艺、控制酸雾挥发量可从源头降低 pH 调节负荷;

(3) 基于在线 pH 检测、振动投料、时序继电器搭建的低成本闭环自控系统,通过密封改造与间歇投料逻辑优化,有效解决调节滞后、碱片卡料两大现场难题,实现全负荷工况下浆液 pH 精准自动控制;

(4) 该套 pH 控制方案适配中小型酸洗车间湿法脱硝现场,改造成本低、运维简单,自动化与经济性优势突出,可为同类型酸雾脱硝系统 pH 自控升级提供工程实践依据。

参考文献:

- [1] 董庆武,郑国强.湿法脱硫浆液 pH 值优化控制的设计及应用[J].中国环保产业,2019(01):35-39.
- [2] 卫平宝,郭猛.660 MW 机组脱硫吸收塔浆液 pH 值控制优化[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2016,21(01):85-89.
- [3] 董庆武,郑国强.湿法脱硫浆液 pH 值优化控制的设计及应用[J].中国环保产业,2019(01):35-39.
- [4] 潘维加,谢又成,周玲,等.吸收塔浆液 pH 值控制系统的分析与改进[J].电站系统工程,2006,22(6):43-44,47.