

化工循环冷却水旁滤处理工艺改进与水质稳定控制

杨丽莉，张治国，惠劭锋

单位：兰州石化公司

邮编：730060

摘要：化工循环冷却水系统是保障生产装置稳定运行的核心单元，其用水量占化工企业总用水量的60%以上。传统旁滤工艺普遍存在滤料适配性差、运行参数匹配度低、与水质稳定管控体系脱节等问题，易导致循环水浊度、总铁超标，结垢腐蚀、微生物滋生风险高，既增加药剂消耗也提升了非计划停车概率。本文结合化工装置循环水系统一线运行经验，对旁滤处理工艺进行针对性优化改进，配套构建水质稳定联动控制机制，有效提升了旁滤系统截污效率，降低了系统运行能耗与结垢腐蚀风险，为化工循环水系统长周期稳定运行、节水降耗提供了可行技术路径。

关键词：循环冷却水；旁滤工艺改进；水质稳定控制；复合梯度滤料

引言

随着化工装置大型化发展，对循环水系统的运行稳定性提出了更高要求，旁滤工艺的优化改进也成为化工企业节水降耗、降本增效的重要抓手。旁滤处理作为循环水系统的核心净化单元，主要作用是去除循环水中的悬浮物、黏泥、腐蚀产物等杂质，是控制水质稳定的关键环节。当前多数化工企业沿用传统的石英砂双层滤料旁滤工艺，存在截污能力不足、滤料易板结、运行能耗高等问题，部分企业旁滤系统甚至长期处于低效运行状态，导致循环水水质波动大，换热器换热效率下降、设备使用寿命缩短。针对上述问题，本文结合实际运行痛点对旁滤工艺进行优化，配套建立协同管控体系，有效解决了传统旁滤工艺的共性缺陷。

1 传统旁滤处理工艺的现存问题

1.1 滤料选型适配性不足

传统旁滤系统多采用石英砂+无烟煤双层滤料，级配设计普遍缺乏针对性，滤料粒径梯度匹配不合理，仅能实现表层截污，截污容量仅为 $2\text{--}3\text{kg/m}^3$ ，运行1-2个周期后表层就会出现滤料板结，反洗难度大幅提升。同时传统滤料表面亲油性较强，当循环水中存在少量泄漏的工艺油品时，滤料表面会快速黏附油膜，不仅会降低孔隙率，还会滋生微生物黏泥，进一步加剧板结问题，部分企业滤料更换周期不足半年，运行成本较高。此外传统滤料反洗膨胀率差异较大，反洗过程中容易出现滤料混杂、小粒径滤料漏失的问题，长期运行后出水水质波动极大。

1.2 运行参数匹配性差

多数化工企业旁滤系统运行参数沿用设计初始值，未结合实际水质负荷动态调整，旁滤流量普遍按循环水量的2%-5%固定设置，当系统处于检修后开车、工艺物料泄漏等特殊工况时，悬浮物负荷突增，固定流量的旁滤系统无法及时去除杂质，导致系统浊度快速上升。同时反洗过程多采用定时水冲模式，反洗强度、反洗时长均按经验设置，反洗压力不足时无法有效松动板结滤层，反洗压力过高则会造成滤料流失，部分企业反洗水耗占旁滤处理水量的15%以上，水资源浪费严重。

1.3 旁滤与水质稳定体系脱节

传统管控模式下旁滤系统属于独立运行单元，未与水质稳定管控体系建立联

动机制，极易出现药剂无效流失、杂质无法及时排出的问题。例如部分企业在投加缓蚀阻垢剂后立即启动高负荷旁滤，导致大分子药剂被滤料截留，循环水中药剂浓度无法达到控制要求，既增加了药剂消耗，也提升了结垢腐蚀风险。此外在开展杀菌剥离作业时，旁滤系统未同步提升运行负荷，剥离下来的生物黏泥无法及时排出系统，会重新附着在换热器内壁，导致杀菌剥离效果大打折扣。

2 旁滤处理工艺的优化改进方案

2.1 复合梯度滤料的优化选型

摒弃传统双层滤料，采用“改性亲水纤维球+磁铁矿+均质石英砂”三层复合梯度滤料，上层装填粒径 3-5mm 的改性亲水纤维球，孔隙率可达 85%以上，经过亲水改性后滤料表面不易黏附油类杂质，反洗再生率可达 95%以上，主要截留大粒径悬浮物、生物黏泥等杂质；中层装填粒径 0.8-1.6mm 的磁铁矿滤料，密度较高、颗粒均匀，主要截留小粒径悬浮物、腐蚀产物等；下层装填粒径 2-4mm 的均质石英砂作为承托层，防止小粒径滤料漏失。该级配模式下滤层孔隙沿水流方向逐步减小，实现了深层截污，截污容量可达 $8-10\text{kg/m}^3$ ，较传统滤料提升 3 倍以上。

2.2 运行参数的动态适配调整

建立旁滤运行参数动态调整机制，根据循环水浊度、总铁、黏泥含量调整旁滤运行流量，正常工况下旁滤流量控制为循环总水量的 3%，当系统处于检修后开车、杀菌剥离等特殊工况时，将旁滤流量提升至 5%-7%，加快杂质排出效率。优化反洗工艺，采用“气冲+气水混冲+水冲”的联合反洗模式，气冲强度控制为 $15-18\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，冲扫 3 分钟松动板结滤层，随后开展气水混冲 2 分钟，最后采用水冲 $8-10\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 冲洗 5 分钟，将滤层截留的杂质完全排出。取消定时反洗模式，将过滤器进出口压差超过 0.07MPa 或出水浊度超过 5NTU 作为反洗触发条件，反洗水耗可降低至旁滤处理水量的 5%以下。

2.3 旁滤与水质管控的联动机制构建

将旁滤系统运行数据接入循环水水质智能管控平台，与缓蚀阻垢剂投加、杀菌剥离等工序建立联动控制逻辑：投加缓蚀阻垢剂后 24 小时内适当降低旁滤运行负荷，避免大分子药剂被滤料截留，确保循环水中药剂浓度稳定达到控制要求；投加非氧化性杀菌剂开展杀菌剥离作业后 24 小时内，将旁滤流量提升至上限，同时加密反洗频次，及时排出剥离下来的生物黏泥；当循环水总磷、锌离子等缓蚀阻垢剂特征组分浓度超过控制上限时，适当提升旁滤运行负荷，降低系统药剂浓度，避免药剂浪费。

3 改进后的水质稳定控制配套措施

3.1 结垢倾向的动态管控

旁滤工艺改进后，配套建立结垢倾向动态监测体系，采用极限碳酸盐硬度法结合动态模拟试验确定阻垢剂最佳投加浓度，将循环水浓缩倍数稳定控制在 4-5 倍区间，定期监测循环水钙离子、总碱度、pH 值等指标，确保朗格利尔饱和指数控制在 ± 0.5 范围内。在重点换热器进出口安装在线垢厚监测仪，实时监测换热器管壁垢厚增长速率，当垢厚增长速率超过 0.1mm/月时，适当提升旁滤运行负荷，同时调整阻垢剂投加量，避免结垢问题加剧。

3.2 腐蚀速率的精准调控

建立腐蚀速率常态化监测机制，在循环水回水管路安装标准腐蚀挂片，每月检测碳钢、不锈钢、铜质挂片的腐蚀速率，确保碳钢腐蚀速率 $\leq 0.075\text{mm/a}$ ，不锈钢、铜质挂片腐蚀速率 $\leq 0.005\text{mm/a}$ ，优于国家标准要求。定期监测循环水总

铁含量，控制总铁浓度 $\leq 0.5\text{mg/L}$ ，当总铁浓度超标时，提升旁滤运行负荷加快腐蚀产物排出，同时适当调整缓蚀剂投加量，避免腐蚀速率进一步上升。

3.3 微生物滋生的协同防控

构建“旁滤截留+药剂杀菌”的微生物协同防控体系，采用氧化性杀菌剂与非氧化性杀菌剂交替投加的模式，避免微生物产生抗药性，每周监测循环水异养菌数，控制异养菌数 $\leq 1 \times 10^5$ 个/mL。每年开展2次全系统杀菌剥离作业，剥离期间旁滤系统满负荷运行，加密反洗频次，确保剥离下来的生物黏泥全部排出系统，避免黏泥附着在换热器内壁造成垢下腐蚀。

结束语

本次针对化工循环冷却水旁滤处理工艺的改进，有效解决了传统滤料截污能力不足、易板结、运行能耗高的问题，配套建立的水质稳定联动控制机制，实现了旁滤系统与水质管控体系的协同运行。实际运行验证表明，改进后的旁滤系统悬浮物去除率稳定在85%以上，滤料更换周期延长至3年以上，循环水浓缩倍数稳定达标，换热器结垢、腐蚀速率均优于国家标准要求，有效降低了药剂消耗与水资源消耗，减少了非计划停车风险，对于化工企业落实节能降碳要求、提升装置运行效益具有重要的现实意义。

参考文献：

- [1] 冯曼. 改善工业循环水水质的方法与实践[J]. 山东冶金, 2023, 45(6): 73-75.
- [2] 吕锡佳, 郑江勇, 周元红. 旁滤+电化学工艺在硫酸循环水系统中的应用实践[J]. 硫酸工业, 2021, (8): 19-21+25.
- [3] 陈娜娜. 大型煤化工装置水系统稳定性运行研究及探索[J]. 河南化工, 2021, 38(7): 38-41.