

煤化工除盐水系统运行中的酸碱药剂管理及成本效益

熊静红 (贵州黔希化工有限责任公司, 贵州 毕节 551500)

摘要: 本文通过对运行中药剂使用误区的分析, 指出剂量控制不精准、药剂兼容性差及误用误配等问题对系统运行效率与成本的不利影响。并结合某化工企业的实际案例, 对药剂投入与处理效能之间的成本效益关系进行定量评估, 明确不同药剂组合方案在实际运行中的经济与技术表现差异, 进一步提出相应优化措施, 为实现高效、绿色、经济的水处理药剂管理提供理论支持与实践路径。

关键词: 煤化工; 除盐水; 酸碱药剂; 运行管理; 成本效益

中图分类号: TQ085.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 028-0073-03

Management and cost-effectiveness of acid and Alkali Chemicals in the Operation of coal chemical Demineralized water systems

Xiong Jinghong (Guizhou Qianxi Chemical Co., LTD, Bijie Guizhou 551500, China)

Abstract: This article, through the analysis of the misunderstandings in the use of chemicals during operation, points out the adverse effects of problems such as inaccurate dosage control, poor compatibility of chemicals, and misuse and mismixing on the operational efficiency and cost of the system. Combined with the actual case of a certain chemical enterprise, a quantitative assessment was conducted on the cost-benefit relationship between the input of chemicals and the treatment efficiency. The economic and technical performance differences of different chemical combination schemes in actual operation were clarified. Further, corresponding optimization measures were proposed to provide theoretical and practical paths for achieving efficient, green and economical management of water treatment chemicals.

Key words: Coal chemical industry; Demineralized water; Acid and alkali agents; Operation management; Cost-effectiveness

作为原水初步处置关键单元的除盐水系统, 需借助酸碱药剂完成离子交换树脂再生的任务, 因环保法规渐趋严格, 且企业对运行成本的关注提高, 传统药剂投加及管理模式呈现出用量超标、腐蚀隐患突显、成本浪费严重等问题, 要实现酸碱药剂使用管理的科学化、保障水质达标、且降低运营成本, 是煤化工企业必须应对的重大考验。

1 除盐水系统中的酸碱药剂应用现状

1.1 除盐水处理工艺流程概述

除盐水处理工艺涵盖预处理、预脱盐系统和精脱盐离子交换系统这三个关键阶段, 其目的是去除水中能溶解的无机盐离子、有机物与微颗粒杂质, 符合煤化工对高纯水的实际需求。预处理主要通过絮凝、沉淀、过滤去除水中大部分悬浮物、颗粒物、细菌、胶体及大分子有机物等, 防止大颗粒杂质预脱盐膜系统, 在膜系统中去除绝大部分盐分后, 然后用阳离子交换器, 经阳离子交换树脂与废水中的离子反应去除 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子, 经脱气装置脱除 CO_2 , 然后进入阴离子交换器, 利用阴离子交换树脂与水中的离子反应除去 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等阴离子, 最后进入混床除去水中残余的微量盐份后把电导率降到 $0.2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下, 实现盐分深度去除, 该流程对再生时酸碱浓度的有效控制、交换树脂再生的效率保障及系统自动化联控机制

提出较高规格, 成为保障煤化工生产稳定性与设备长周期运转的基石。

1.2 酸碱药剂的种类与作用原理

在脱盐水体里, 普遍采用的酸碱药剂主要为盐酸, 分别针对阳离子交换树脂和阴离子交换树脂进行再生, 作为强酸存在的盐酸, 输送高浓度的 H^+ 离子, 可以把阳树脂上吸附的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等金属离子有效置换掉, 恢复树脂的离子置换能力; 作为强碱的氢氧化钠, 以释放 OH^- 离子的方式, 与阴树脂上的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等阴离子进行互换, 实现树脂的再次焕活。其发挥核心作用的机制是离子选择性交换反应, 需电荷守恒, 才能完成树脂功能团再活化, 有效使用酸碱药剂, 这关乎水质稳定性, 还影响系统出水电导率, 还直接牵扯到再生周期、树脂的寿命长短和系统运行的经济可行性, 要参照水质成分、树脂类型且结合系统负荷准确匹配药剂种类与浓度。

1.3 运行中常见问题与药剂使用误区

在除盐水系统实际操作运行的阶段, 酸碱药剂在使用时常伴有各种问题与错误, 影响系统的工作效率与运行稳定, 涉及药剂投加过多或过少, 前者易引起系统酸碱的大量聚集, 加剧设备的腐蚀, 造成安全方面隐患, 后者引起树脂再生呈现不完全情形, 产出水质下滑; 未参照原水水质的波动以及树脂交换容量

的变化去动态调整药剂浓度和投放量，引发药剂利用率的下滑。还有些系统在配置跟投加的环节上缺乏在线监测和闭环管控机制，难以即刻发现用量异常或再生不彻底情形，对设备材质的耐腐蚀特性重视欠缺，造成浓酸碱对泵阀、管道形成长期的侵蚀，提升了检修频次与运行费用，由此可知，除盐水系统药剂管理的精细化、自动化与专业化程度急需改进提高。

2 酸碱药剂管理策略与运行优化

2.1 药剂投加控制方式及监测手段

现代煤化工除盐水系统运行，药剂投加控制关键是达成精准、稳定及动态的调节，传统人工投加方法已被 PLC 控制系统替换，采用流量计、pH 计与电导率在线监测单元搭建闭环控制机制，完成对酸碱药剂自动化定量投送，系统按照树脂运转的时长、所处理水量、出水电导率及再生峰值反应的速率，动态调控药剂投加浓度与流量的大小，若原水硬度增强导致阳树脂负荷出现增大时，控制系统可自动把盐酸投加浓度提高，保证树脂彻底再生，避免再生未彻底引发水质变糟。

实时监测途径是保障药剂投加科学性的核心支持，依靠在线 pH 监控来判断中和反应的程度高低；基于电导率曲线的变化走向识别再生完成点；红外或超声波液位传感器对药剂罐液位实施监控，防止药剂投加环节出现中断，部分先进系统引入水质建模预测算法，对水质波动进行预判，提前调整投加计划，依靠数据驱动跟自适应控制算法的融合，加强了药剂的使用效率及运行稳定，实现药剂控制向数字化智能化转变。

2.2 药剂储存、配置及输送管理

药剂的储存管理应依从安全、稳定与防腐蚀性相结合的规范，盐酸、氢氧化钠均归为强腐蚀性的化学试剂，推荐分别采用耐酸碱性质的材质（如 HDPE、FRP 或者聚丙稀衬里所制）的双层储罐，配置有防腐效果的呼吸阀、可对液位进行监测的装置与防泄漏的收集池，保障药剂在高浓度情形中长期稳定保存不出现渗漏。要为药剂储罐设定独立隔离区域，让其符合《化学危险品管理条例》中通风、防火间距及泄漏防控相关要求。

在药剂调配与输送的环节，应建立标准化浓度把控机制与自动稀释架构，如借助变频计量泵，将 31% 盐酸和 50% 的氢氧化钠引入自动稀释装置里去，把配比浓度调整到再生工艺最佳反应的范围。采用配置流量计数仪与压力感应设备，可做到输送异常瞬间报警及精准管控，采用落实标准化药剂配制及输送系统举措，某大型煤化工厂年平均药剂浪费减少 6% 以上，

腐蚀性设备替换的频率降低差不多 30%，显著强化系统运作的安全性及经济可行性。

2.3 药剂使用与设备腐蚀、安全性的协调控制

在除盐水系统中，酸碱药剂的腐蚀性对设备安全运行构成潜在威胁，必须在保障药剂有效再生树脂的前提下，合理控制其对泵体、管道、阀门及储罐等设备的腐蚀风险。首先应根据药剂性质与输送路径，选用具备耐强酸碱性能的材料。还应建立周期性的腐蚀监测制度，通过金属腐蚀试片、电化学腐蚀速率分析等手段，对关键部位进行状态评估，及时发现隐患并采取更换或加固措施。

在安全控制方面，需通过自动化手段实现对药剂使用全过程的闭环监控与风险预警。包括设置连锁控制逻辑，确保药剂计量泵运行与供水系统同步，防止“空投加”引发浓液堆积与设备冲击；在药剂输送管线上设立泄漏检测装置，联动切断阀及时封堵泄漏源；对药剂罐区实施视频监控、可燃气体检测与强制通风系统建设，降低人员误操作和突发事故风险。通过工艺优化、材质防腐与系统联控等多维协同手段，可有效实现药剂使用效率与设备运行安全性的双重保障，降低企业运行风险与维护成本。

3 药剂使用的成本效益分析与提升措施

在煤化工水处理系统中，酸碱药剂的成本体现在采购环节，还包括设备运行维护、安全防护、人力投入及潜在事故风险等隐性支出。以某煤制烯烃企业自 2023 年底实施“除盐水系统药剂精细化管理与自动化投控”专项改造工程为例，具体实施、成效分析、运行效益如下：

3.1 系统性成本构成重构与分析维度拓展

企业在改造前，通过成本拆解建立完整的药剂使用成本构成（表 1），得出结论：药剂采购成本虽为主要项，但不当使用与管理造成的“二次支出”占比超过 25%，具有显著的优化潜力。

表 1 水处理药剂使用现状及年度成本构成

成本模块	明细内容	年均金额 (元)
药剂直接采购	HCl (850 元 /t)、NaOH (1050 元 /t)	≈ 4,600,000
运输与配置人工	药剂分批卸载、人工稀释、人工投加等	≈ 420,000
材料腐蚀与更换	腐蚀泵、PVC 管、阀门每年更换 4~5 次	≈ 620,000
安全与应急设备耗损	洗眼器、pH 泄露报警器、碱中和设施等	≈ 240,000
不达标水返工与加投药剂	树脂未完全再生，需二次补药 + 返水	≈ 320,000
总计		≈ 6,200,000

3.2 精细化药剂管理系统构建与实施过程

开展药剂管理系统重构与升级,实现“控量、控质、控点、控效”:

3.2.1 标准化药剂配置模块改造

原状问题:现场以人工比例配置药剂,误差高,浓度波动范围 $\pm 5\%$;改造措施:引进智能稀释模块(自动定容稀释系统),将原液通过计量泵+比例混合控制阀按设定稀释比例(HCl: 7%、NaOH: 6%)稳定输出;控制逻辑:PLC监测原液进液量、稀释水量与混合浓度变化,超差自动报警并切断配液泵;实施周期:60天完成配置罐系统改造与现场调试;效果:配置浓度误差控制至 $\pm 0.5\%$,药剂投加稳定性提升显著。

3.2.2 多参数智能投加系统上线

原状问题:再生启动频次固定,不考虑树脂负荷变化,存在过度再生;改造措施:增设在线硬度、出水电导率、电导率微分判断模块;建立再生决策模型:投加逻辑根据出水电导率上升速率、电导率一阶导数变化趋势、累计处理水量三个参数动态触发;控制算法:出水电导率每5min采样一次,连续三个数据点趋势向上且超过预设斜率即触发提前再生;

效果对比:改造前,平均每吨水耗盐酸0.46kg,耗NaOH 0.36kg;改造后,降至0.40kg、0.31kg,节约约15%。

3.2.3 药剂输送系统防腐升级

改造背景:年内泵体腐蚀穿孔5次,平均每次更换材料费用5万元以上;改造措施:输送泵更换为PVDF磁力泵,耐HCl>30%,设计寿命3年以上;管路由PVC-U升级为PP-R/FRP复合管,增设药剂流量计及缓冲抑制装置;每根管道设立2个腐蚀电极,接入DCS系统实时采集腐蚀速率;效果:输送系统一年内无腐蚀穿孔事件,维护成本下降60%以上。

3.2.4 集中药剂站+配送系统建设

原状问题:除盐车站、备用水站、多套分布式供药系统导致库存管理混乱;建设内容:建设容量50m³集中药剂站,统一存储、统一配液、统一输送;输送至各站点采用双回路PLC调度,带回流管线保证浓度均衡;优势:药剂库存信息统一化管理;药剂输送路径统一布局,提升安全性;人工成本减少约30%。

3.2.5 建立药剂使用绩效考核体系

考核内容:单位水耗酸碱量、出水不达标率、再生失败次数等;数据采集来源:ERP+SCADA系统自动记录并报表化;奖惩机制:每季度评估班组药剂利用效率,奖优罚劣;作用:有效激励一线班组重视精细化操作,运行合规率提升至98%以上。

4 成本效益成果综合分析

表2 药剂使用优化前后药耗成本与处理效益对比

成本项	改造前 / 年	改造后 / 年	降幅或增益
HCl年用量(t)	2,760	2,340	↓ 15.2%
NaOH年用量(t)	2,160	1,890	↓ 12.5%
药剂采购费用(元)	4,614,000	3,982,500	↓ 631,500 元
腐蚀设备更换费用	620,000	430,000	↓ 190,000 元
药剂配置与人工	420,000	280,000	↓ 140,000 元
安全事故与应急处置	240,000	100,000	↓ 140,000 元
合计节约金额	——	——	1,101,500 元 / 年

通过建设自动化药剂稀释与投加系统、改造防腐输送管路、实施集中药剂供应体系以及引入多维度绩效考核机制,该煤化工企业在确保除盐水质达标的同时,实现年运行成本超百万元的节约,腐蚀事件和人工干预显著减少,运行安全性和管理智能化水平大幅提升。本案例充分说明:药剂成本优化不是简单的采购议价,而是管理方式、系统设计、运行控制等多因素协同提升的结果,具有广泛的推广参考价值。

5 结束语

除盐水系统作为煤化工水处理的关键环节,其运行效率与成本控制能力对企业经济效益与安全环保水平具有深远影响。通过优化酸碱药剂管理策略,实现从源头控制、过程调控到末端协同的全流程精细化运行,企业可以有效降低运行成本,还能延长设备使用寿命、减少环境风险,提升系统运行的综合效益。

参考文献:

- [1] 朱中原.无扰动快切装置在煤化工脱盐车站低压配电系统的应用[J].自动化应用,2023,64(12):61-64.
- [2] 杨乃成.除盐车站酸碱系统的设备改进[J].吉林冶金,2021(2):41-43.
- [3] 冯涛,薛喜东,王可宁,等.全膜法在软化水和除盐水制备中的设计与应用[J].工业用水与废水,2024,55(3):62-66.
- [4] 任同伟,刘孟博.煤化工脱盐车站中水回用工艺设计[J].安徽化工,2023,49(06):90-94.
- [5] 樊小明.化工生产装置蒸汽凝液回收与利用[J].氮肥与合成气,2021,49(09):17-20.

作者简介:

熊静红(1992.06—),女,汉族,大专,助理工程师,研究方向:水处理。