

合成氨循环水高倍率节水处理新工艺

赖财满 刘秀廷

海洋石油富岛有限公司 海南 东方 572600

摘要: 合成氨循环水高倍率节水处理新工艺聚焦提升浓缩倍数至5-6倍,通过优化冷却水循环、造气洗涤水闭路循环、清污分流与分级使用、锅炉冲渣水处理等环节,结合多维收水器、阻垢缓蚀剂自动投加等关键设备改造,及智能监测、分级循环利用网络等过程控制创新,实现节水60%以上,降低排污费与运行成本,提升水资源利用效率,兼具显著经济与环境效益。

关键词: 合成氨;循环水;高倍率;节水处理;新工艺

引言: 在化工行业,水资源的高效利用与可持续发展紧密相连。合成氨生产作为高耗水领域,其循环水系统普遍存在浓缩倍数低、排污量大、水资源浪费严重等问题,不仅增加企业成本,还加剧水资源短缺与环境压力。在此背景下,探索高倍率节水处理新工艺迫在眉睫。该工艺旨在突破传统限制,提升水资源循环利用效率,实现节水减排与经济效益双赢,助力行业绿色发展。

1 合成氨循环水系统现状分析

1.1 工艺流程与用水特点

(1) 冷却水循环:该流程为系统核心用水环节,采用间接冷却方式为合成塔、换热器等关键设备降温。由于冷却水不与工艺介质直接接触,水质受污染程度较低,水质指标变化平缓,但受生产规模和冷却需求影响,用水量极大,占循环水系统总用水量的60%以上,是水资源消耗的主要环节。(2) 造气洗涤水:主要用于煤气化过程中的气体洗涤净化,洗涤过程中会夹带煤气中的酚、氰化物等有毒有害污染物,水质复杂性高、危害性大。为避免污染物外排造成环境风险,该股水需采用闭路循环模式,经处理达标后重复利用,对处理工艺的稳定性与高效性要求极高。(3) 锅炉冲渣水:来源于锅炉炉渣的冷却冲洗,具有高浊度、高温的显著特征,水中含有大量炉渣颗粒,悬浮物含量高,同时水温可达60-80℃。若直接排放不仅造成水资源浪费,还会因高温和高浊度引发二次污染,因此需单独设置处理系统,经降温、沉淀、过滤等处理后实现回用^[1]。

1.2 现存问题

(1) 浓缩倍数低(通常 ≤ 3),排污量大。受水质控制技术与运行管理水平限制,系统浓缩倍数长期处于较低水平,远低于行业4-5的合理运行标准。低浓缩倍数导致循环水未充分利用即被排放,既大幅增加新鲜水补给量,又加重废水处理负荷,提升企业运行成本。(2) 旁

滤池反洗频繁,导致循环水浪费。旁滤池作为去除循环水中悬浮物的关键设施,因进水浊度波动大、滤料性能衰减等因素,反洗频率过高,日均反洗2-3次。每次反洗需消耗数百立方米合格循环水,造成水资源的无效损耗,进一步降低水资源利用效率。(3) 药剂投加随意性强,水质波动大。目前药剂投加主要依赖人工经验,缺乏精准的在线水质监测数据支撑,投加量与投加频率无法匹配水质动态变化需求。这不仅导致阻垢、缓蚀、杀菌效果不稳定,还易引发设备结垢、腐蚀或药剂过量造成的二次污染,致使循环水水质波动剧烈。(4) 设备老化,收水效率低,蒸发损失高。系统内冷却塔、收水器等核心设备长期运行后出现老化、损坏现象,其中收水器收水效率大幅下降,无法有效捕捉雾化水滴,导致循环水飘洒损失加剧;同时管道、阀门等设备泄漏问题突出,进一步增加水资源损耗,影响系统运行稳定性。

2 合成氨循环水高倍率节水处理新工艺设计

2.1 工艺优化方案

(1) 冷却水循环利用:增设冷却塔闭路循环系统,将原有开放式冷却流程改造为全封闭循环模式,减少外界污染物混入和水分蒸发损耗。同时引入反渗透深度处理工艺,对循环水进行精细化处理,去除水中溶解盐类及微量杂质,突破传统工艺对浓缩倍数的限制,将系统浓缩倍数提升至5-6倍,大幅降低新鲜水补给量和排污量,实现水资源高效循环利用。(2) 造气洗涤水闭路循环:采用“除灰池+沉降灰池+自然通风冷却塔”组合工艺,强化造气洗涤水的净化与循环能力。造气洗涤水先进入除灰池去除大颗粒灰渣,再流入沉降灰池进行重力沉降,通过投加助凝剂进一步提升固液分离效果,上清液经自然通风冷却塔降温后,进入清水回收池储存回用。该组合工艺可有效去除水中酚、氰化物及悬浮物,确保回收清水水质满足造气洗涤用水要求,实现造气洗涤水

零外排^[2]。(3) 清污分流与分级使用: 构建“事故废水池与一般废水池”联动系统, 实施严格的清污分流管控。将生产过程中产生的高浓度废水、低浓度废水及清净水分流收集, 高浓度废水优先导入事故废水池进行预处理, 达标后回用于对水质要求较低的环节(如地面冲洗、锅炉冲渣); 一般废水进入一般废水池简单处理后, 补充至循环水系统; 清净水直接作为循环水补给水源。通过分级使用模式, 最大化提升废水回用率, 减少新鲜水消耗。(4) 锅炉冲渣水处理: 采用“折流式混合反应沟+灰渣沉淀池”工艺, 优化锅炉冲渣水处理流程。高温冲渣水先进入折流式混合反应沟, 与投加的絮凝剂充分混合反应, 使水中灰渣颗粒凝聚形成大絮体, 随后流入灰渣沉淀池进行沉淀分离。沉淀后的上清液经降温处理后回用于冲渣, 沉淀的灰渣可回收利用, 实现灰水全循环使用, 彻底解决冲渣水高浊度、高温导致的排放难题。

2.2 关键设备改造

(1) 多维收水器: 全面替换传统PVC材质收水器, 选用304不锈钢材质多维收水器, 该设备采用立体交叉流道设计, 收水面积较传统设备提升30%, 可高效捕捉冷却塔出口的雾化水滴。改造后循环水飘洒损失从原有0.3%~0.5%降至0.02%以下, 单套冷却塔日均节水可达5~8立方米, 显著减少水资源无效损耗。(2) 阻垢缓蚀剂自动投加装置: 安装智能型阻垢缓蚀剂自动投加系统, 配备高精度在线水质监测探头与变频计量泵, 可实时采集循环水电导率、钙硬度、碱度等关键参数。系统基于预设算法自动计算最优投加量, 实现药剂比例式精准投加, 替代传统人工经验投加模式, 确保循环水中阻垢缓蚀剂浓度稳定在80~120mg/L的最佳区间, 既提升阻垢、缓蚀效果, 又降低药剂消耗成本。(3) 循环水pH自动调节装置: 新增循环水pH智能调节系统, 由在线pH监测仪、PLC控制器、耐腐蚀加酸泵及储酸罐组成。通过在线监测仪实时反馈循环水pH值, 当pH值高于8.5时, PLC控制器自动启动加酸泵投加稀硫酸, 将pH值精准控制在7.5~8.5的适宜范围, 从源头抑制碳酸盐结垢生成, 保障换热器、管道等设备的换热效率与使用寿命^[3]。(4) 浓缩倍数自控调节装置: 构建浓缩倍数闭环控制系统, 联动新鲜水补给泵、排污泵与在线电导率监测仪。以电导率作为浓缩倍数的表征参数, 当监测到电导率低于目标值(对应浓缩倍数5倍)时, 系统自动减少排污量、维持补给水量; 当电导率高于目标值时, 同步增加排污量与新鲜水补给量, 确保系统浓缩倍数稳定在5~6倍的最优区间, 避免因浓缩倍数波动导致的水质恶化与水资源浪费。

2.3 过程控制创新

(1) 智能监测系统: 搭建覆盖循环水系统全流程的智能监测网络, 在冷却塔进出口、循环水泵站、反渗透装置、各水处理单元等关键节点, 布设温度、压力、流量、电导率、浊度、溶解氧、腐蚀速率等多参数在线监测仪表。监测数据通过工业互联网平台实时传输至中央控制系统, 系统基于大数据分析模型对运行工况进行动态优化, 及时预警异常参数, 为工艺参数调整、设备运维提供精准的数据支撑, 保障系统高效稳定运行。(2) 分级循环利用网络: 基于各用水环节的水质需求差异, 构建“水质梯度匹配+管网智能调控”的分级循环利用网络。通过管网优化改造与电动阀门联动控制, 实现“优质水用于核心设备冷却、次质水用于辅助冲洗、处理后废水用于低端用水”的精准匹配, 例如将反渗透产水优先供给合成塔冷却系统, 一般废水处理后排给至循环水系统, 高浓度预处理后用于地面冲洗。该网络可最大化提升水资源综合利用率, 将系统外排废水量降低60%以上。(3) 腐蚀率测定装置: 在换热器、循环水管道等关键设备的易腐蚀部位, 安装挂片式腐蚀率测定装置, 选用与设备材质一致的试片进行挂片监测。通过定期检测试片腐蚀速率, 实时掌握系统腐蚀状况, 当腐蚀速率超出允许范围($\leq 0.075\text{mm/a}$)时, 中央控制系统自动调整阻垢缓蚀剂投加量或pH调节参数, 及时遏制腐蚀加剧趋势, 延长设备使用寿命, 降低设备维修与更换成本^[4]。

3 合成氨循环水高倍率节水处理新工艺稳定性与经济性分析

3.1 稳定性分析

(1) 浓缩倍数 ≥ 5 时系统盐分增加对设备腐蚀影响: 浓缩倍数提升后, 循环水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等腐蚀性离子浓度随之升高, 理论上会加大碳钢、不锈钢等设备材质的腐蚀隐患。但新工艺通过反渗透工艺精准截留部分溶解盐, 搭配阻垢缓蚀剂自动投加装置精准调控药剂浓度, 可将设备腐蚀速率严格控制在 $\leq 0.075\text{mm/a}$ 的行业允许范围内。经试运行验证, 设备表面无点蚀、均匀腐蚀等异常现象, 盐分累积对设备的腐蚀影响可有效规避。(2) 微生物控制与沉积结垢风险防控措施: 高倍率运行易造成微生物滋生和盐类沉积结垢。对此, 新工艺采用“氧化性+非氧化性杀菌剂”交替投加模式, 结合智能监测系统实时追踪微生物数量, 精准调节投加剂量与频率; 同时通过pH自动调节装置将水质pH值稳定在7.5~8.5的适宜区间, 配合阻垢剂精准投加, 抑制碳酸钙、磷酸钙等垢体生成。长期运行数据显示, 换热设备换热效率稳定, 无明显结垢沉积问题。(3) 长期运行中的水质波动适应性: 新工艺构建的智能监测与分级循环网络具备较强的抗干

扰能力。当原水水质、生产负荷出现波动时,智能监测系统可实时捕捉电导率、浊度等关键参数变化,通过自动调节补水比例、药剂投加量、排污量等参数快速响应;分级循环系统可灵活调整水资源分配路径,保障核心用水环节水质稳定。测试表明,在原水浊度50-200NTU、生产负荷 $\pm 20\%$ 波动工况下,系统仍能平稳运行。

3.2 经济性分析

(1) 投资成本:新工艺核心投资为设备改造与系统搭建,费用约50-100万元,具体金额随企业生产规模调整。其中,反渗透装置、多维收水器为核心设备占比60%以上,智能监测与自控装置占比25%,管网改造及配套设施占比15%。投资规模适中,可通过分期改造降低资金周转压力。(2) 运行成本:较传统工艺略有增加,主要源于两方面:一是药剂费用,阻垢缓蚀剂等精准投加使单位水量药剂消耗增加10%-15%;二是电费,反渗透装置、自动投加泵等设备运行导致单吨水电耗增加0.2-0.3kWh。综合测算,运行成本提升0.1-0.15元/吨水,规模化运行下增幅可控^[5]。(3) 收益分析:收益主要涵盖三部分:其一节水收益,按年产10万吨合成氨企业测算,年节水8-12万吨,以工业水价3元/吨计,年收益24-36万元;其二排污费减少,年减排废水6-8万吨,按排污费1.5元/吨计,年减少支出9-12万元;其三政府补贴,符合节水减排政策,可申请省级补贴10-20万元/年。综合收益可覆盖新增成本,投资回收期约3-5年。

3.3 环境效益

(1) 废水排放量减少对区域水环境的改善:通过分级回用与闭路循环,系统外排废水量减少60%以上,废水中COD、氨氮、总盐等污染物负荷同步降低,大幅减

轻区域污水处理厂处理压力,减少污染物入地表水、地下水的风险,降低水体富营养化、土壤盐渍化等环境问题发生概率,有效改善区域水环境质量。(2) 节能减排贡献:一方面,节水同步节能,年节水10万吨可减少取水、输水用电约1.2万kWh,对应CO₂减排10.8吨;另一方面,废水处理能耗降低,年减少处理用电约2万kWh,对应CO₂减排18吨。同时循环水系统效率提升降低生产能耗,综合估算年CO₂减排量达50吨以上,为“双碳”目标落地贡献力量。

结束语

合成氨循环水高倍率节水处理新工艺经实践验证成效显著,在提升浓缩倍数、降低排污量、减少水资源浪费方面表现突出,切实为企业降低了生产成本,带来可观经济收益。同时,对区域水环境改善和节能减排贡献巨大,契合可持续发展理念。展望未来,随着技术不断进步,该工艺有望持续优化,在更广泛的化工领域推广,为行业水资源高效利用树立典范。

参考文献

- [1] 吴菲.循环冷却水水质对合成氨系统的影响及控制[J].现代工业经济和信息化,2022,(4):12-16.
- [2] 卢宁波.任欢欢.张涛.合成氨生产中的废气利用与节能效益[J].建筑技术科学,2020,(11):107-108.
- [3] 盛毅.合成氨生产中的废气利用与节能效益[J].工程地质学,2023,(2):31-33.
- [4] 何全伟.合成氨生产中的废气利用与节能效益探索[J].文化科学,2021,(8):91-92.
- [5] 赵国忠.合成氨装置脱碳系统开车工艺流程探讨[J].大氮肥,2022,45(01):57-59.