

基于水资源循环利用的工业污水处理厂 再生水回用关键技术研究

郑泽斌

(珠海高栏港中法水务有限公司, 广东 珠海 519000)

摘要 针对工业污水处理厂再生水回用过程中高盐来水并线挤压、微量杂质残留、膜前筛滤衔接偏紧及厂内供水等级错配等问题, 本研究提出了基于水资源循环利用的再生水回用关键技术, 通过设置高盐废水分线导排单元、吸附接触与深床滤池组合截除单元、膜前多级洗滤单元及厂内分级回供单元, 并结合连续取样、参数整定与月度跟踪方式开展方案验证。结果表明, 高盐支路识别准确率、膜前通量保持率、分级回供切换正确率持续上升, 表明该技术能够改善回用链运行衔接状况, 提升回用水分级配送适配水平, 具备较高工程应用价值。

关键词 水资源循环利用; 工业污水处理厂; 再生水回用; 高盐废水; 分级回供

中图分类号: X703

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.042

0 引言

工业用水需求持续增长, 水资源约束与排放标准同步抬升, 工业污水处理厂正由末端达标处置转向资源化利用导向。再生水回用已成为缓解新水取用压力、提升厂区水循环效率、改善用排平衡关系的重要路径, 也成为工业节水改造中关注度较高的技术方向^[1]。受来水波动、盐分累积、微量杂质残留及回用端水质适配关系影响, 现行回用系统在连续运行、回用品质维持与厂内分级供水方面仍有提升空间^[2]。基于此, 本文立足于工业污水处理厂运行场景, 围绕水资源循环利用导向下再生水回用关键技术展开研究。

1 工业污水处理厂再生水回用面临的主要问题

工业污水处理厂原水组成复杂, 生产换线排水、设备清洗排水与高盐母液常在同一时段汇入调节系统, 电导率、硬度与含盐量波动幅度偏大, 同线回用单元易出现负荷失衡^[3]。部分来水夹带氯离子、硫酸根及溶解性有机小分子, 进入回用链后会推高浓缩段盐分累积速率^[4]。生化出水进入深度处理环节后, 微量有机物、表面活性剂与胶体硅仍有残留, 回用水色度、嗅味与可氧化性指标时有反复^[5]。过滤段与膜处理段衔接若欠细密, 细颗粒、黏性污泥与钙镁沉积物便会沿程附着, 膜面污染与清洗频次上升随即出现。厂区各类用水点对盐分、硬度与余氯承受范围存在差异, 回用水混线输送后常现水质错配^[6]。

2 基于水资源循环利用的工业污水处理厂再生水回用关键技术

2.1 高盐废水分线导排

工业排水进入厂区调节系统以前, 母液、树脂再生排水、蒸发残液沿专管汇入独立集水井, 湿热季节设备清洗排水仍走原有调节线。值班人员以电导率、氯离子、总硬度3项指标判别支路去向, 高温时段每8 h校核1次在线电导率表。缓冲池停留时间控制在2 h~4 h, 搅拌线速度维持0.2 m/s~0.3 m/s, 池底留出沉析区, 池顶接入回流管。

现场切换按“先抬液位, 再开旁线, 后收主线”顺序执行, 电导率接近主线设定上限时先把液位抬高0.2 m, 再开启高盐支路。池内沿水流方向布设2道导流板, 沉积层厚度达到80 mm时停搅拌30 min后排泥。检修班每周在转角冲洗口注入中间水10 min~15 min, 阀门复位依照进水阀、回流阀、出水阀次序完成, 班组依操作卡即可完成整套导排行程。

2.2 微量杂质深层截除

生化出水跨入精处理段时, 可溶性有机残留、微细胶体与表面活性物仍会进入回用水系统。厂内将吸附接触池与深床滤池前后布置, 前段削减溶解性杂质, 后段截留细颗粒。接触池停留时间取20 min~30 min, 炭层厚度校定在1.2 m~1.5 m, 滤层接上粗下细铺设。缓混池与吸附池之间留出短程过渡段, 药剂投加口设在缓混池入口, 混合时间取3 min~5 min。

作者简介: 郑泽斌(1995-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 工业污水处理、环保。

班组依据可溶性有机碳、滤后浊度与水色变化修整投加量,深床滤池反冲洗强度随阻力变化小幅调整。滤池反洗采用气洗接水洗方式,气洗 6 min~8 min,水洗 8 min~10 min,滤层膨胀率控制在 15% 左右。炭层接近饱和时按半仓轮换法抽换旧炭,抽换后先以低负荷进水 12 h,再恢复常规流量。滤前、炭后、滤后 3 处取样口按班记录,班组据记录修整换炭时点。

2.3 膜前洗滤稳流防堵

配水渠承担来水分散任务,渠内设置整流板和消能坎,来水沿全幅摊开后依次进入旋流分离器、盘式过滤器和精滤单元。各级入口均设压差表与取样阀,值班人员依压差变化安排洗滤时点。过滤器前端留出短程混合区,助凝剂投加量依照进水浊度与黏泥附着量小幅修整,3 级单元沿粒径梯度形成递进截留关系。

反洗次序沿上游设备向下游设备推进,旋流底流按 2 h 排放 1 次,盘式过滤器在压差升至 20 kPa~25 kPa 时启动反洗,精滤单元依据截污量实行错时清洗。清洗水取自中间水池,回洗流速较过滤流速高 20%~30%,单格回洗时间取 6 min~8 min。来水夹带少量油分时,操作人员把助凝剂投加点前移至配水渠进口。设备检修期间保留 1 列旁路,切换时先降进水量,再关主线阀,随后开启旁路阀,膜池入口水量仍沿原设节拍进入。

2.4 厂内用水分级回供

厂区回用水进入储配段以后,值班人员按用水等级分仓,并依各仓读数组织供水。其运行流程如图 1 所示,高位水箱、常压储池、调配池分别对应冷却补水、冲洗用水与药剂配制用水,3 处储水单元均安装液位计、

电导率表与余氯表。主干管采用环形布置,各支线端部设置回流阀与排气阀,回用水随后沿既定等级输送至对应用水点。

调度班依据液位变化与班次负荷安排供水次序。冷却塔补水优先取用低电导率水源,冲洗支路承接普通回用水,药剂配制点在午后高温负荷回落时切入调配池水源。余氯投加口设在出泵总管前段,接触时间校定在 15 min~20 min。单仓检修时,备用仓同步抬泵运行,各支路取水口据水质等级有序取水。

3 再生水回用方案验证与效果分析

3.1 方案流程

应用点选在华南沿海制造园区某综合工业污水处理厂回用车间,布置范围覆盖二沉池出水渠、深度处理间、膜处理间与回用泵房。该厂电子材料清洗排水、循环冷却排污水与表调废液排水波动较明显,含盐梯度清楚,现场设有冷却补水、冲洗用水、药剂配制水 3 类支路。现场沿原调节池侧增设分线井,在深床滤池前串接吸附接触池,膜前布置盘式过滤器与精滤单元,并设置取样点和在线读数点。回用总管末端分设高位箱、常压池与调配池,分别对应 3 类用水。

3.2 参数调控

参数整定依照连续取样结果展开,关键设定集中在分线导排、吸附接触、膜前洗滤与回供切换等环节。表 1 列出现场运行时采用的主要参数及其调整依据。分线井采用电导率与液位联动口径,吸附接触池按紫外吸收值修整炭剂投加,膜前段依据压差安排反洗,

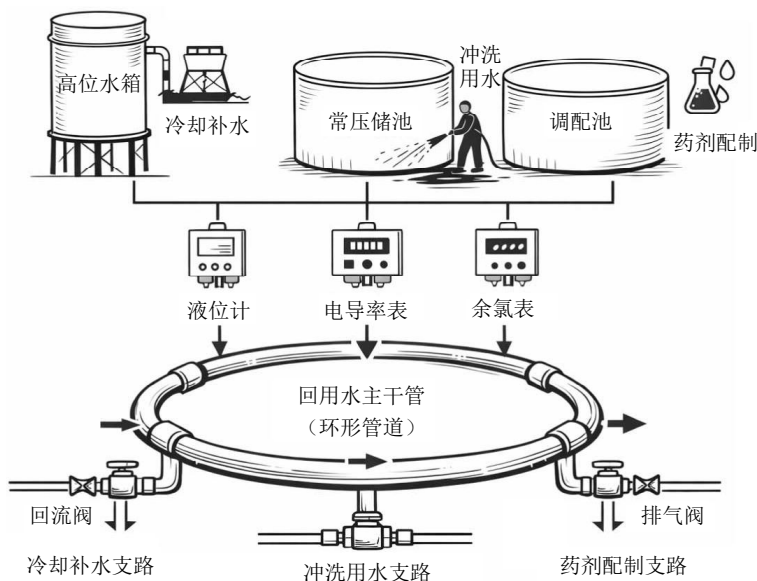


图 1 厂内回用分级配水示意图

表1 参数设置表

参数项目	控制位置	设定值	调整依据
分线导排判据	分线井、缓冲池	电导率 6500.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 液位上调 0.20 m	连续取样结果
吸附接触参数	吸附接触池	停留时间 24.18 min; 炭剂 18.27 mg/L ~ 26.43 mg/L	紫外吸收值变化
洗滤回供参数	盘滤、精滤、回供段	反洗压差 22.38 kPa; 回洗流速 +25.17%; 余氯 0.18 mg/L ~ 0.27 mg/L	压差与末端水质

回供段结合高温季节末端水质读数组织支路切换。

3.3 效果分析

为直观观察方案运行过程中的阶段性变化,选取高盐支路识别准确率、膜前通量保持率、分级回供切换正确率3项指标展开月度对比。前一指标反映分线导排判别结果与实际来水归属之间的一致程度,可用

于判断高盐来水分流执行情况;膜前通量保持率指膜段运行通量相对起始通量的保持水平,可用于辨别洗滤组织与前端截留效果;分级回供切换正确率表示支路切换动作与目标用水等级之间的吻合程度,可用于核读厂内回用水分仓配送执行情况。3项指标分别对应前端导排、膜前处理与末端回供,相关数据如图2所示。

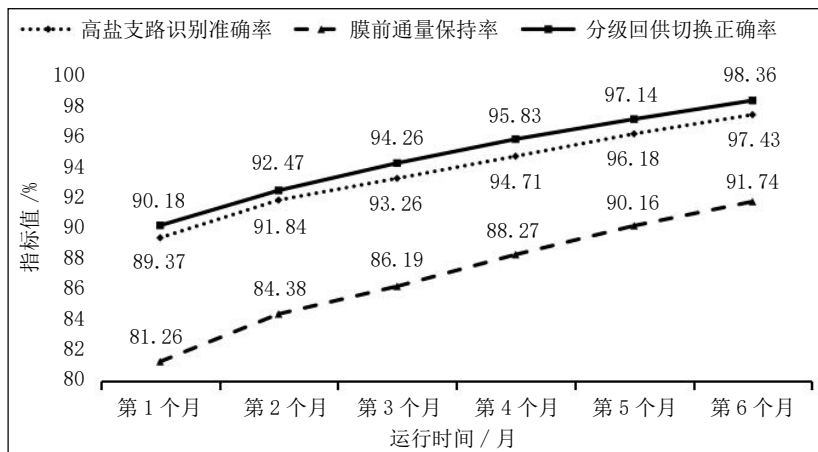


图2 再生水回用关键指标月度变化曲线

图2数据显示,高盐支路识别准确率由89.37%升至97.43%,分线井在线电导率校核与缓冲池抬液位切换形成较清晰判别口径,班次交替时高盐来水未再挤入主线。膜前通量保持率由81.26%抬至91.74%,盘式过滤反洗时序、精滤错时清洗与前移助凝投加共同削减了细颗粒附着速度,膜面沉积层增长幅度逐月收窄。分级回供切换正确率沿月度持续走高,关键变化出现在第4个月前,高位箱、常压池、调配池三仓取水边界逐步清晰以后,泵组接力与阀门启闭次序更贴合各用水点负荷节律。

4 结束语

本研究围绕工业污水处理厂再生水回用运行场景,系统梳理高盐来水分线、微量杂质截除、膜前洗滤及厂内分级回供技术,并结合沿海制造园区实例完成方案验证。研究表明,工艺分段布置与参数协同调节可改善回用链条运行秩序,丰富工业再生水资源化利用研究内容,也为同类厂区回用系统设计、运行调节与

分级配水提供实践参照。后续可围绕季节波动与多类来水并行工况继续深化。

参考文献:

- [1] 刘小芳,沈剑,殷雪梅,等.污水处理厂再生水排放及回用的环境与生态影响研究进展[J].环境工程技术学报,2025,15(01):249-258.
- [2] 李闯修,李志国,赵莎.污水处理厂再生水现状及资源化利用研究[J].中国资源综合利用,2025,43(04):24-28.
- [3] 李言克.人工湿地在城镇污水深度处理中的应用:以某污水处理厂再生水利用工程为例[J].中国资源综合利用,2025,43(07):249-251.
- [4] 王艳芳,陈龙,张宏伟.晋中市某污水处理厂扩建及再生水回用工程设计[J].中国给水排水,2024,40(16):71-76.
- [5] 甄晨曦,刘熙刚,张晓斌,等.再生水回用对典型污水处理工艺生态效应的影响[J].净水技术,2024,43(05):125-132.
- [6] 代晓明,夏梦琦,梁梁.城镇污水处理厂再生水适用范围研究与分析[J].黑龙江环境通报,2024,37(04):130-132.