

中水深度处理生产回用工艺研究

汪丽贤

上海康恒环境股份有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i5.2700

[摘要] 为降低垃圾焚烧处理厂对河水或地下水的消耗及运行成本,部分项目转而采用中水作为生产水源。然而,中水水质通常无法满足循环冷却水系统的标准要求,因此需进行深度净化处理。本研究以河北省某生活垃圾焚烧厂为案例对象,探讨了“调节池+化学软化+超滤(UF)+反渗透(RO)”处理工艺对该厂中水的处理效果。文章重点分析了该工艺流程及对提升中水水质的效能,旨在评估该工艺在满足循环冷却水系统水质要求方面的可行性与实际效果。

[关键词] 中水深度处理; 垃圾焚烧处理厂; 工程案例

中图分类号: TU824+.5 **文献标识码:** A

Research on Production and Reuse Technology of Advanced Treatment of Reclaimed Water

Lixian Wang

Shanghai Kangheng Environment Co., Ltd.

[Abstract] To reduce the consumption of river water or groundwater and lower operational costs in waste incineration plants, some projects have adopted reclaimed water as a production water source. However, the quality of reclaimed water typically fails to meet the standards required for recirculating cooling water systems, necessitating advanced purification treatment. This study investigates the treatment efficacy of the "Equalization Tank + Chemical Softening + Ultrafiltration (UF) + Reverse Osmosis (RO)" process for reclaimed water at a municipal solid waste incineration plant in Hebei Province, China. The analysis focuses on the process flow and its effectiveness in enhancing reclaimed water quality, with the aim of evaluating the feasibility and practical performance of this technology in meeting the stringent water quality requirements of recirculating cooling water systems.

[Key words] Reclaimed Water Advanced Treatment; Waste incineration plant; Engineering case

引言

垃圾焚烧处理厂的日常运行需消耗大量工业用水以维持设备正常运转。在项目设计初期,水源选择需严格遵循:安全可靠、经济可行性、环保合规性及技术适配性。基于上述原则,设计者将综合评估备选水源,最终确定适用于垃圾焚烧发电系统的生产用水方案。

从短期投资成本分析,河水确属厂区生产水源的最经济选择。然而,我国是水资源短缺国家,400余座城市面临供水压力^[1]; 欧盟联合研究中心(JRC)报告进一步警示,中欧、东欧、南欧及东地中海地区存在大规模干旱风险。采用河水水源将使项目普遍面临季节性断流或干旱威胁,且部分区域已出台政策禁止将河水、地下水用于工业生产。此外自来水单价(4-8元/吨)显著高于中水(1元/吨左右),若采用自来水作为生产用水将大幅增加项目运行成本^[2]。此外,因垃圾焚烧厂选址多具区位特殊性,市政管网未覆盖区域难以获取自来水水源。综合技术经济

与环境效益,中水成为大部分垃圾焚烧厂的优选方案^[3]: 其既降低企业用水成本,缓解区域水资源压力,又符合管网约束条件,更响应国家“以水定产”的可持续水资源管理战略。

垃圾焚烧厂的生产用水主要用于循环冷却水系统补水,其水质需满足《城市污水再生利用工业用水水质》(GB/T 19923—2005)表1规定的敞开式循环冷却水系统补充水标准^[4]。然而,常规中水水质往往难以达到该技术规范要求^[5]。目前中水作为生产水源在垃圾焚烧厂应用广泛,典型处理工艺为“一体化净水器+多介质过滤器+活性炭过滤器”、“化学软化+沉淀+砂滤+超滤+反渗透”、“多介质过滤器+超滤+反渗透”^[6]、“调节池+软化加药+砂滤+超滤+反渗透”、“预处理+超滤+反渗透+离子交换”^[7]、“市政中水+热交换+多介质过滤器+活性炭过滤器+一级反渗透(RO)+二级反渗透+EDI”^[8]等。

本研究以河北省某垃圾焚烧厂工程实践为对象,采用“调节池-化学软化-砂滤-UF-RO”组合工艺处理中水并回用于生产系

统,通过技术经济与运行效能分析,论证该工艺路线作为垃圾焚烧厂可持续水源解决方案的工程可行性。

1 项目概况

河北省某生活垃圾焚烧厂垃圾焚烧规模为 $1 \times 500 \text{ t/d}$,根据全厂水量水质科学合理规划平衡用水,全厂每日需要生产用水量为 50 t/h 。本项目的生产用水采用自来水;生产用水采用来自垃圾焚烧厂附近的污水处理厂的中水,水质可以达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类水质标准。本项目中水处理站进水水质要求表1所示:

表1 中水处理站进水水质指标表

项 目	pH值 (25℃)	悬浮物 (mg/L)	色度 (倍)	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	总磷 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总硬度(以	总碱度	氯化物 (mg/L)
									CaCO ₃ 计,mg/L)	(以CaCO ₃ 计,mg/L)	
结果	7.80~8.15	5	7	4.9	16	0.46	0.08	7.17	158	228	2370

垃圾焚烧厂生产用水主要回用于循环冷却系统。为确保垃圾发电厂安全运行,需杜绝冷却系统设备及管道出现结垢沉积或腐蚀侵蚀现象。因此,中水须经深度净化处理,其出水水质须同时达到《城市污水再生利用 工业用水水质》GB/T19923-2005中敞开式循环冷却系统补充水标准及电力行业同类型中水用于循环冷却水系统补充水的相关水质指标。

2 中水处理系统工艺处理流程

本项目中水采用“调节池+化学软化+UF+反渗透(根据实际情况,R0可作为预留设计)”的处理工艺。

为确保后续处理构筑物及设备免受中水高峰流量冲击,维持进水水质与水量稳定性,需设置具备缓冲容积的调节池。原水经调节池均质后,由进水提升泵加压输送至软化加药反应槽。为降低水体硬度,置软化加药系统,投加氢氧化钠与碳酸钠使钙、镁离子转化为碳酸钙及氢氧化镁沉淀,并于沉淀池实现固液分离。过程中同步投加絮凝剂PAC和助凝剂PAM以强化沉淀效能。沉淀池上清液经盐酸调节pH后,进入超滤(UF)单元进行后续深度处理。

石英砂过滤器内装填精制石英砂,由于采用不同颗粒大小的滤料,从而形成了从上到下、由小而大的依次排列顺序^[8];当水从上流经滤料层时,水中部分的固体悬浮物质进入上层滤层滤料形成了微小的孔眼,受到吸附和机械阻留作用被滤料的表面层所截留。同时这些被截留的悬浮物质之间又发生重叠和架桥等作用,在滤层的表面形成一层薄膜,形成了薄膜过滤,过滤水中的悬浮物质。

沉淀池出水经砂滤后,上清液由UF进水泵输送至超滤(UF)膜系统完成固液分离。UF单元旨在去除沉淀池单元未能截留的悬浮物。U膜过滤通量控制在 $50 \sim 55 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。UF产水的浊度要求在 0.2 NTU 以内,且保证SDI值控制在3以内。UF单元产水进入UF产水池,UF单元产生的浓液进入反应池1进行回用处理。UF产水通过RO进水泵提升进入RO反渗透除盐水系统进行脱盐处理,产

水进入工业水池。浓液进入浓水池后综合利用或者外排。化学软化过程产生大量无机污泥,经污泥泵输送至储池后,由板框脱水机进行脱水处理。脱水污泥转运至垃圾坑处置,滤液则回流至化学软化系统,实现废液闭环处置,避免产生二次污染。

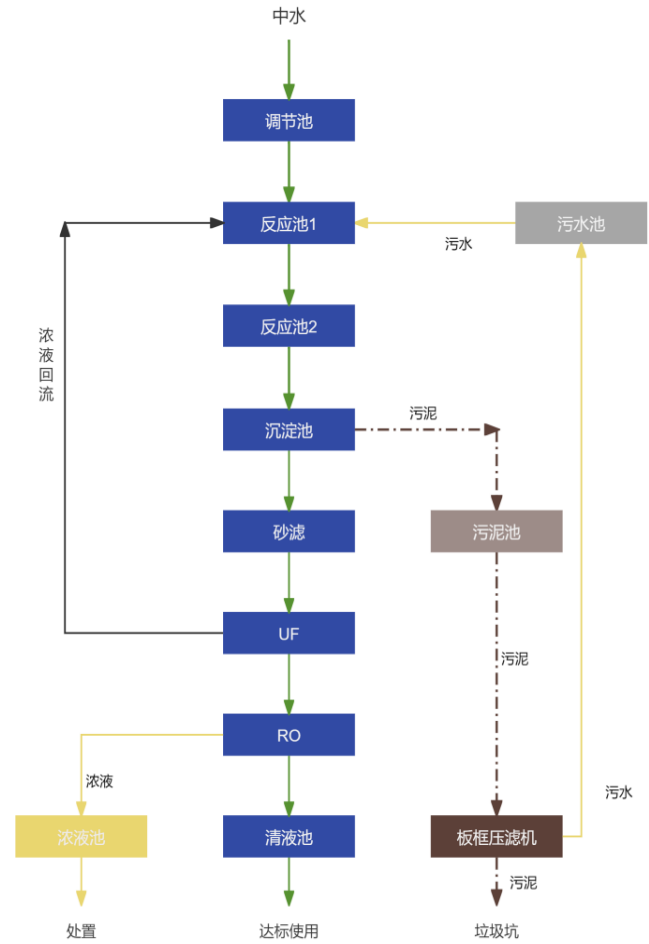


图1 中水处理系统工艺流程图

3 中水处理系统运行分析

3.1 系统运行稳定性分析

本项目中水处理站采用“调节池+化学软化+UF+反渗透”工艺处理中水。表2呈现8月—12月处理后的生产用水水质:监测指标(pH、浊度、硬度、碱度)均符合限值要求,满足循环冷却水标准。

值得注意的是,运行期间出水浊度持续显著低于限值,反映了调节池与超滤(UF)系统对悬浮物的高效去除能力;同时硬度和碱度达标证实化学软化工艺有效,但该过程会提高出水pH。8—12月出水pH(7.98—8.37)呈碱性,需要控制pH,避免过碱性环境会加剧循环管道腐蚀及冷却塔填料板结,并削弱缓蚀剂效能。在后续操作过程中需要优化软化工艺参数或在软化后-RO前置段实施pH微调(如投加微量酸),将RO进水pH控制在膜最佳耐受范围(通常5-8),此举兼具提升脱盐效率与抑制结垢的双重效益。

表2 中水处理站出水水质情况

指标	单位	限值	8月	9月	10月	11月	12月
pH	无量纲	6.8-8.5	8.26	8.25	8.29	8.37	7.98
浊度	NTU	≤5	2.3	2.30	2.3	2.3	2.3
硬度	mg/L	≤450	223	229.00	221	221	271
碱度	mg/L	≤350	256	251.00	236	236	208

3.2 系统运行建议

在采用“调节池+化学软化+超滤(UF)+反渗透(RO)”工艺的中水深度处理系统中,确保长期稳定运行需首要关注南北不同地区水源区域性差异^[9],不同区域水质中硬度、碱度差别明显,需要调整工艺参数。

其次需要关注水质波动与软化工艺的协同调控。调节池虽可有效均衡水量,但其对产水的硬度、碱度等关键指标的缓冲能力存在局限。当出水总硬度(以CaCO₃计)或碱度波动幅度较大时,必须强化化学软化工艺控制:通过建立基于实时监测的石灰-纯碱药剂动态投加模型,实现硬度与碱度的协同优化;若软化后朗格利尔饱和指数(LSI)仍高于结垢阈值,则建议启用二级反渗透单元或增设混床离子交换系统以提升脱盐深度。

再而需重点防控反渗透膜结垢风险。在超滤产水端投加食品级硫酸或盐酸,将RO进水pH严格调控至7.0-7.5区间,降低碳酸钙饱和度指数(LSI),有效抑制CaCO₃晶核析出,同时将减少系统浓差极化现象。

终端产水pH的稳定性同样至关重要。通过在产水箱配置稀酸计量泵(优选柠檬酸),将出水pH精准维持在8.0-8.5范围^[10]:当pH低于7.5时易引发管网腐蚀,高于8.5则可能导致碳酸钙二次析出。

最后,膜系统维护需实施分级策略:持续监测标准化通量衰减率(超过15%即需干预),定期采用碱性清洗剂清除微生物污染,配合pH=2-3的酸性清洗剂溶解无机结垢。建立每30分钟在线反洗、每月化学加强洗、每半年离线深度洗的三级维护机制,可显著延缓膜性能衰减。

4 小结

中水作为工业水源兼具经济性与环保优势:既可降低项目运行成本,又能缓解区域水环境压力。针对中水水质垃圾焚烧厂循环冷却系统的水质标准,采用“调节池+化学软化+UF+反渗透”组合工艺进行深度处理,其出水可满足要求。需特别强调的是,运行过程中化学软化单元的效果将显著影响出水总硬度与总碱度指标,直接关系到最终水质稳定性。

[参考文献]

- [1]贾学秀,严岩,朱春雁,等.区域水资源压力分析评价方法综述[J].自然资源学报,2016,31(10):1781-1791.
- [2]熊建平,李志华,俞晓阳,生活垃圾焚烧发电厂能源综合利用的分析及应用[J].能源与节能,2023(09):32-34+97.
- [3]刘立国.城市中水回用作火电厂锅炉补给水水源[J].中国给水排水,2017,33(02):96-98.
- [4]张学谦,市政中水用于垃圾发电厂循环水系统的处理工艺研究[J].科技与创新,2023(20):108-110.
- [5]冯少辉,张定华.南阳市生活垃圾焚烧发电项目再生水水质分析论证_冯少辉[J].皮革制作与环保科技,2023,4(09):146-147+156.
- [6]赵飞,多介质过滤器、超滤与反渗透技术协同驱动下的中水回用深度净化与高效利用策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程科技,2025(01):79-83.
- [7]郑观文,彭巧玲,曹顺,城市中水回用于锅炉补给水的处理工艺运行和分析[J].山东化工,2016(19):137-139.
- [8]谷爱军.中水回用技术在垃圾焚烧发电厂的应用[J].中国资源综合利用,2022,40(01):84-86+94.
- [9]刘世念.中水回用于南北火电厂锅炉补给水的水源区域性差异及回用效果分析[J].广东化工,2013,40(24):77-78+74.
- [10]邓东升.再生水作为发电厂水源的可行性分析——以某生活垃圾焚烧发电厂为例[J].中国资源综合利用,2025,43(1):94-97.

作者简介:

汪丽贤(1996--),女,汉族,安徽安庆人,研究生,专业方向:污水处理净化。