 DOI: https://doi.org/10.26789/jnhb.v7i4.950

Deep Treatment and Medium Water Reuse of Urban Sewage

Yajun Tang

Beijing Qinghe Water Conservancy Construction Group Co., Ltd., Beijing, 100043, China

Abstract

This paper introduces a set of medium water deep treatment reuse project with a treatment capacity of 320m^3/h is introduced. The project adopts multi-media filter + ultrafiltration + reverse osmosis process, deep treatment of secondary urban sewage and return the water production for the circulating cooling water of Shougang Cold-rolled Plate Co., Ltd. and the source water of boiler supply water. This paper discusses the function and characteristics of the key process are discussed and the operation effect is investigated. The results show that the process is stable and the water production indexes meet the water quality requirements of reclaimed water.

Keywords

medium water reuse; multi-media filter; ultrafiltration; reverse osmosis

城市污水的深度处理及中水回用

唐亚军

北京清河水利建设集团有限公司，中国 · 北京 100043

摘　要

论文介绍了一套处理能力为320m^3/h的中水深度处理回用工程。该工程采用多介质过滤器+超滤+反渗透工艺，深度处理二级城市污水并将产水回用于首钢冷轧薄板有限公司生产线的循环冷却水及锅炉补给水的源水。论文探讨了该工艺关键单元的作用及特点并考察了其运行效果。结果表明，该工艺运行稳定，产水各项指标满足该公司对回用水的水质要求。

关键词

中水回用；多介质过滤器；超滤；反渗透

1 引言

中水回用就是把城市污水或工业废水经过深度技术处理，去除各种杂质，去除污染水体的有毒有害物质，进而消毒灭菌，其水体无色、无味、水质清澈透明，且达到或好于国家规定的杂用水标准，被广泛应用于城市浇洒绿地、扫洒用水、景观用水、消防补充水、水冷却循环补充用水、冲车用水等。中国是严重缺水的国家之一，尤其是城市化快速发展时期，城市缺水状况越来越严重。为解决大量的工业生产用水和市政或生活辅助用水，污水回用成为可靠的第二水源。污水深度处理及回用不仅缓解了供水不足、水污染和改善生态环境等问题，还提高了回用水的水质、水量及其经济附加值，使之具有更广泛的应用空间，从而创造更多的经济效益、社会效益和环境效益，实现可持续发展。

【作者简介】唐亚军（1978–），男，中国广东电白人，本科，工程师，从事水处理研究。

2 中水深度处理的膜分离技术

膜技术是当代新型高效分离技术，是多学科交叉的产物，也是化学工程学科发展的新增长点。与传统的分离技术比较，它具有高效、低能耗，过程简单、操作方便，不污染环境，便于与其他技术集成等突出优点。膜技术的研究应用与节能和环境保护，水资源开发利用和再生的关系极为密切。膜分离技术已经成为污水资源化的关键技术。目前，尚未出现比其更具有竞争力的其他技术。在水资源普遍趋向短缺以及水环境的要求越来越高的形势下，膜集成技术的发展趋势是提高系统的稳定性，增强膜的抗污染能力和劣化的防治。

一般对生化二沉池出水的深度处理，常用的处理步骤就是过滤，使二沉池出水的生物絮体和胶体物质可以截留在滤料上面，降低出水的 SS 和浊度。对废水的深度处理，经常采用砂滤和活性炭过滤。砂滤作为主要用于去除 SS、胶体物质，而活性炭可过滤吸附有机物、重金属类、氧化性物质。对于出水 SS 时有波动，为保证过滤能稳定长期运行，可对进水增设混凝沉淀等措施，以延长过滤器的反冲周期。

经过过滤出水的 SS 可降低为小于 5mg/L，绝大多数的

大粒径胶体颗粒也可去除，但是对小于 0.1um 以下的微粒依然部分存在，对 RO 膜的运行依然是一个污染。因此，有必要对 RO 膜前进行预过滤。中空纤维膜超滤的过滤粒径为 0.01~0.2um，原则上透过中空纤维膜超滤的出水浊度为 0，同时截留水中的细菌，防止后级膜的细菌污染。且系统的回收率高，可以达到 90% 以上。因此中空纤维膜超滤对 RO 膜来讲，是一个良好的预处理。

反渗透 RO 膜对于脱盐来说是一个理想选择。标准反渗透膜的 NaCl 截留率为 99% 以上，原则上透过膜的产水只有纯净的水。对多价离子、有机物等的截留则更为彻底。反渗透系统对污水脱盐处理的脱盐率一般达 95% 以上，对 COD、BOD 去除率在 85% 以上，水回收率为 70%~85%，产水水质稳定可靠。出水含盐量、硬度、浊度、COD、SS 等指标极低，一般可直接回用或进一步脱盐作为纯水、锅炉。

反渗透膜由于一般采用卷式膜结构，为保证反渗透系统的正常高效稳定运行，污水进入反渗透膜前需要采用一定的预处理，去除废水中不溶的颗粒、胶体等，以满足反渗透进水 SDI ＜ 3 的要求，并降低导致膜面结垢的离子浓度，微胶体等。

3 工程实例

3.1 原水水质

本项目为首钢冷轧薄板坯生产线工程中水处理站 320m^3/h 一级反渗透产水系统，产水用作冷轧薄板有限公司生产线的循环冷却水及锅炉补给水的源水。主体工艺流程为“原水→多介质过滤器→板式换热器→超滤→反渗透”。原水取自中国北京市顺义区城市污水处理厂出水，其中原水水质分析如表 1 所示。

表 1 原水水质分析表

序号	水质项目	数值
1	pH	6.0~9.0
2	悬浮物（mg/L）	30
3	浊度（NTU）	≤5
4	BOD5（mg/L）	≤20
5	COD_{Cr}（mg/L）	≤60
6	铁（mg/L）	微量
7	锰（mg/L）	≤0.2
8	氯离子（mg/L）	≤120
9	总硬度（mg/L，以 $CaCO_3$ 计）	≤450
10	总碱度（mg/L，以 $CaCO_3$ 计）	≤425
11	氨氮（mg/L）	≤8
12	总磷（mg/L，以 P 计）	≤1
13	溶解性总固体（mg/L）	≤1000
14	游离余氯（mg/L）	0.1
15	粪大肠菌群（个 /L）	≤10000
16	电导率（μs/cm）	1490
17	冬天平均温度（℃）	5

3.2 中水处理站工艺流程图

关于中水处理站工艺流程具体见图 1。

3.3 中水处理站工艺描述

3.3.1 预处理系统

原水来自顺义区城市污水处理厂的出水。原水首先进入原水池贮存，调节水质水量，然后通过泵提升至多介质过滤器过滤，去除原水中的悬浮物和胶体物质，减轻后续超滤系统处理的负荷；在来水水温较低时，过滤器出水通过板式换热器加热，调节水温至 20℃左右，水温升高有利于提高后续超滤系统和反渗透系统的产水通量。

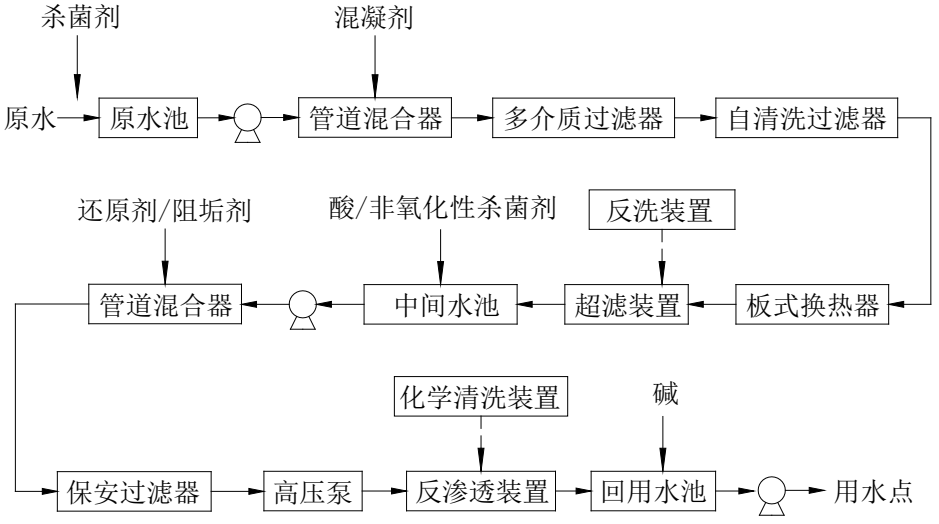

图 1 中水处理站工艺流程

由于原水是城市污水处理厂的出水，COD_{Cr}、SS 和细菌含量较高，因此在来水进入原水池之前需投加杀菌剂 NaC_{lO}；并在原水泵出口处投加混凝剂，有助于提高过滤器去除细菌和悬浮物的效果。

多介质过滤器利用原水进行反冲洗，过滤器反洗水及超滤装置的反洗水通过净化装置处理后回流至原水池，净化装置排放的污泥及反洗水经收集后排放至废水处理站处理。

自清洗过滤器，用于拦截多介质过滤器出水中可能存在的颗粒性杂质，保护后续超滤装置的安全运行，避免超滤膜元件被大颗粒物质堵塞或者被划伤损坏，从而提高超滤膜的使用寿命。

3.3.2 超滤系统

预处理出水进入超滤系统深度过滤。为保护超滤膜元件不被大颗粒物质堵塞或划伤损坏，在进入超滤系统前需设置过滤精度 200um 的自清洗过滤器。超滤膜的物理截留作用可以去除水中绝大部分的胶体、悬浮颗粒和细菌、病毒等，使产水水质符合后续反渗透系统进水水质的要求。本工程采用 4 套超滤装置并联运行，膜组件为外压式中空纤维膜，膜运行通量为 50 $L/m^2 \cdot h$。进水最大压力为 6.0bar，膜两侧最大允许压差为 3.0bar。

超滤设备正常运行一段时间后，膜元件会受到给水中可能存在的悬浮物或难溶物质的污染，这些污染物最常见的为碳酸钙垢、硫酸钙垢、金属氧化物垢、硅沉积物及有机或无机沉积物，从而导致超滤产水量的下降。因此，这就需要设置一套化学清洗装置对超滤膜进行化学清洗，以恢复超滤膜的产水通量。

超滤产水进入中间水池贮存。为防止中间水池中细菌重新繁殖，在水池中投加非氧化性杀菌剂。

3.3.3 反渗透系统

增压泵将中间水池中的水提升至 5um 保安过滤器，进保安过滤器前通过管道静态混合器投加阻垢剂防止反渗透膜管中碳酸钙、磷酸钙以及硅酸盐等的结垢，投加还原剂以去除水中的氧化性物质，同时投加酸调节水 pH 为弱酸性。

经保安过滤器过滤后，出水通过高压泵进入一级反渗透系统进行脱盐处理，通过克服膜两侧溶液的渗透压，借助半透膜的选择截留作用将生水中的无机离子、细菌、病毒和有机物等杂质去除，以获得高质量的纯水。由于来水 COD 含量比较高，因此反渗透膜元件需采用抗污染型膜，设计通量为 20.6 $L/m^2 \cdot h$。

反渗透系统每运行一段时间需进行一次化学清洗，恢复其产水通量。正常化学清洗周期为 1~3 个月。该化学清洗装置与超滤化学清洗装置可以共用。清洗系统包括清洗箱、清洗泵、装置连接的可拆卸管道，便于拆卸的密封接头等。设备设计成单元型式，以清洗箱、清洗泵为主体，将阀门、仪表和连接管道按一定的技术规范和合理的工艺流程组装在共用底座上。反渗透产水进入回用水池贮存，并通过供水泵送至各用水点。反渗透浓水送至厂区废水处理站集中处理。

4 工程经济效益分析

该项目投产以来一直稳定运行，吨水运行成本为 1.9~2.2 元，按照北京市自来水 4 元 / 吨，每吨水可节约费用为 4-2.2=1.8 元，每天产水 320×24=7680 吨 / 天，年运行 330 天，全年可节约工业用水费用 1.8×7680×330=4561920 元，即每年可节约成本 456 万元，经济效益明显。

5 结论

城市二级污水深度处理采用的“原水→多介质过滤器→板式换热器→超滤→反渗透”工艺可行。该设备投产以来运行稳定，产水满足该公司回用水水质要求。由此可见，膜分离技术完全可以应用到污水回用领域，能够实现废水零排放，实现废水资源化。

参考文献

[1] 曹相生.污水深度处理中的生物强化过滤技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2003.

[2] 刘雨,赵庆良,郑兴灿.生物膜法污水处理技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.

[3] 蔡丽琴.浅析城市中水利用[J].中国市政工程,2003(4):3.