

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.028

钢铁企业浓盐水处理回用工程实例

岳丽芳¹, 王春慧¹, 韩一杰², 周红星¹, 张连成³

(1. 唐山学院 土木工程学院, 河北 唐山 063000; 2. 唐钢自动化公司, 河北 唐山 063000;
3. 唐山港陆钢铁有限公司, 河北 唐山 064200)

摘要: 某钢铁企业采用微滤+纳滤+反渗透工艺,对厂区中水回用工程产生的反渗透浓盐水进行处理,处理后的回用水作为焦化厂循环水系统补水。实际运行结果表明,该浓盐水处理系统运行状况良好,处理工艺合理,产水率达到78.8%,直接运行费用为4.62元/m³。回用水水质满足《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中工艺与产品用水水质标准,最终超浓水水质满足《钢铁工业水污染物排放标准》(GB 13456—2012)中水污染物特别排放限值标准后用于冲渣或掺入烧结配料,实现了浓盐水废水零排放。

关键词: 浓盐水; 微滤; 纳滤; 反渗透

中图分类号: TU993 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0156-04

Brine Treatment and Reuse Project of an Iron and Steel Enterprise

YUE Li-fang¹, WANG Chun-hui¹, HAN Yi-jie², ZHOU Hong-xing¹, ZHANG Lian-cheng³

(1. Department of Civil Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China; 2. Tangshan Iron and Steel Automation Co. Ltd., Tangshan 063000, China; 3. Tangshan Ganglu Iron and Steel Co. Ltd., Tangshan 064200, China)

Abstract: The combined process of microfiltration, nanofiltration, and reverse osmosis was adopted in an iron and steel enterprise to treat the reverse osmosis brine produced in reclaimed water reuse engineering for supplementary water of circulating water system in coking plant. The actual operation results show that the brine treatment system operates well and the treatment process is reasonable, the water production rate of the project reach 78.8% and the direct operating cost is 4.62 yuan/m³. The reclaimed water quality meets criteria for process and product water quality in *The Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Industrial Uses* (GB/T 19923 - 2005) and the final ultra-concentrated water quality meet the specific water pollutant discharge limits in *Discharge Standard of Water Pollutants for Iron and Steel Industry* (GB 13456 - 2012). The final ultra-concentrated water is used for scouring slag or mixing into sintering ingredients to achieve the goal of brine zero discharge.

Key words: brine; microfiltration; nanofiltration; reverse osmosis

日益严峻的水资源形势和国家实施的节水减排政策,使钢铁企业的污水处理要求日益提高,传统的

水处理回用工艺已经不能很好地满足企业生产用水水质要求和减排目标^[1-2]。目前,多数钢铁企业污

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究重点项目(ZD2018310)

通信作者: 岳丽芳 E-mail: yuelifang81@163.com

水深度处理后的除盐水能够达到冶炼工艺用水水质要求,部分甚至可以达到锅炉给水补水的水质标准,但仍有一部分会成为浓盐水。这部分浓盐水具有污染物浓度高、含盐种类多且量大、硬度高的水质特点,常规的生化处理难度较大。因此,如何经济、有效地回收利用剩余浓盐水已成为钢铁企业实现浓盐水零排放的关键环节。

唐山某钢铁有限公司中水回用工程将全厂达标排放的综合废水进行深度处理,主要包括炼铁、炼钢和轧钢等工艺循环冷却水系统的排放水及少量生活污水,产水用于厂区内不同生产工艺循环冷却水系统补水及锅炉补给水^[3]。为响应国家越来越严格的环保要求,也为企业能够走上技术化、集约型、高

效益、可持续发展之路,采用微滤+纳滤+反渗透组合工艺对反渗透浓盐水进行深度处理并回用^[4-6],经处理后的反渗透产水和浓水反渗透产水用于焦化厂循环水系统补水,纳滤和反渗透处理单元产生的最终超浓水用于冲渣或掺入烧结配料全部消纳。

1 设计水量及进、出水水质

本工程原水为中水回用工程产生的反渗透浓盐水,设计水量为 155 m³/h。处理后的回用水水质满足《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中工艺与产品用水水质标准,处理后的最终超浓水水质满足《钢铁工业水污染物排放标准》(GB 13456—2012)中水污染物特别排放限值标准,具体的设计进水、回用水水质见表 1。

表 1 设计进水、回用水水质

Tab. 1 Design influent and reclaimed water quality

项目	pH 值	TDS/ (mg · L ⁻¹)	总硬度(以 CaCO ₃ 计)/ (mg · L ⁻¹)	氯离子/ (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	浊度/ NTU
进水	7.7 ~ 8.7	4 000	1 000	1 600	100	90	20
回用水	5.5 ~ 7.0	≤1 000	≤450	≤100	≤60	≤10	≤5

2 工艺流程

根据进水水质、水量确定其处理工艺,具体工艺流程如图 1 所示。

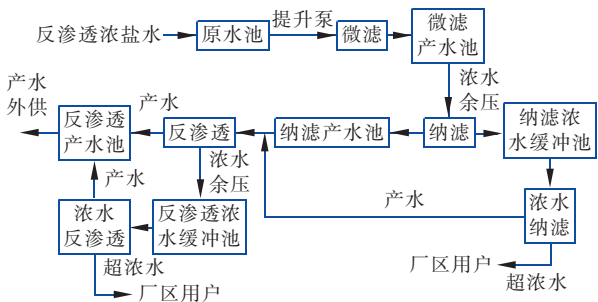


图 1 浓盐水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of concentrated saltwater treatment process

反渗透浓盐水由于含有阻垢剂、浓水结垢、膜污染物等,因此需进行预处理。通过投加絮凝剂破坏阻垢剂,从而使浓盐水中过饱和的碳酸钙及其他结垢沉淀物沉淀,由后续自清洗过滤器及微滤膜过滤拦截,进一步去除反渗透浓盐水中的悬浮物,从而保证后续膜系统安全运行。

经过预处理的原水由提升泵提升至微滤系统,先经自清洗过滤器去除悬浮物、胶体、大颗粒物等,以避免堵塞微滤膜。自清洗过滤器出水经微滤膜处理去除残留的大分子物质和细小胶体,为后续膜系统提供稳定、优质进水。微滤系统产水进入微滤产

水池,经提升泵进入纳滤系统,去除 90% 以上相对分子质量 >300 u 的有机物和二价离子。为保证系统产水率,纳滤浓水利用余压进入纳滤浓水缓冲水池,经进水高压泵进入浓水纳滤系统,其产生的超浓水用于全厂冲渣或掺入烧结配料。纳滤系统产水与浓水纳滤系统产水共同进入反渗透系统,去除绝大部分盐分、胶体,以及大部分有机物等,反渗透系统产水进入反渗滤产水池作为回用水外供。为减少排污量,提高产水回收率,反渗滤浓水利用余压进入反渗滤浓水缓冲水池,再进入浓水反渗滤系统进行再次脱盐处理,其产水进入反渗滤产水池作为回用水外供,超浓水经浓水泵送至厂区冲渣或掺入烧结配料。

本工程中所产生的微滤反洗废水、纳滤反洗废水、反渗透反洗废水等杂排水经回用泵送至焦化废水处理站进行处理。

3 主要设备及设计参数

① 浓盐水提升泵

浓盐水提升设 2 台离心泵,1 用 1 备,单台 $Q = 212 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 350 \text{ kPa}$ 。

② 微滤系统

设微滤装置 1 套,额定出力为 150 m³/h。采用外压式中空纤维膜元件,PVDF 材质,过滤精度为 0.2 μm,采用错流过滤的运行方式,微滤膜反洗采

用气水联合反洗、加药反洗。微滤膜 68 支/套,单支膜面积均为 50 m^2 。主要配套设备:自清洗过滤器 1 套, $212 \text{ m}^3/\text{h}$,过滤精度 $200 \mu\text{m}$;反洗卧式离心泵 2 台, $Q = 86 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 300 \text{ kPa}$;清洗装置及加药装置各 1 套。

③ 纳滤系统

纳滤装置 1 套,额定出力为 $127.5 \text{ m}^3/\text{h}$,采用一级三段的排列方式(15:8:11),8 英寸(1 英寸 = 2.54 cm)抗污染纳滤膜,回收率 $\geq 85\%$ 。段间增压泵 1 台, $Q = 87 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 300 \text{ kPa}$;段间循环泵 1 台, $Q = 122 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 450 \text{ kPa}$ 。配套设备:纳滤供水泵 2 台,1 用 1 备, $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 300 \text{ kPa}$;保安过滤器 1 台,过滤精度 $5 \mu\text{m}$, $Q = 165 \text{ m}^3/\text{h}$;进水高压泵 1 台, $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 1.2 \text{ MPa}$;清洗装置 1 套(清洗水箱、清洗水泵、清洗保安过滤器);纳滤冲洗泵 1 台, $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 300 \text{ kPa}$;加药装置 1 套(包括阻垢剂加药装置、还原剂加药装置、非氧化杀菌剂加药装置、进水盐酸加药装置)。

浓水纳滤装置 1 套,额定出力为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$,采用一级二段(4:4)排列方式,回收率 $\geq 50\%$ 。膜元件采用 8 英寸纳滤膜,48 支/套。段间循环泵 2 台, $Q = 48 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 450 \text{ kPa}$ 。主要配套设备:浓水纳滤增压泵、保安过滤器、进水高压泵、加药装置(阻垢剂加药装置、进水 pH 调节装置、非氧化杀菌剂加药装置)。

④ 反渗透系统

反渗透装置 1 套,额定出力为 $111 \text{ m}^3/\text{h}$,采用一级三段的排列方式(16:8:4),回收率为 $80\% \sim 85\%$ 。反渗透膜材质为聚酰胺,平均膜通量为 $16 \sim 19 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。段间增压泵 1, $Q = 74 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 400 \text{ kPa}$;段间增压泵 2, $Q = 42 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 400 \text{ kPa}$ 。反渗透系统主要配套设备:反渗透增压泵 2 台,1 用 1 备, $Q = 142 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 300 \text{ kPa}$;保安过滤器 1 台,过滤精度 $5 \mu\text{m}$, $Q = 155 \text{ m}^3/\text{h}$;进水高压泵 1 台, $Q = 142 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 1.8 \text{ MPa}$;冲洗水泵与纳滤冲洗泵共用;还原剂、阻垢剂、杀菌剂投加装置以及和纳滤系统共用的清洗装置各 1 套。

浓水反渗透装置 2 套,额定出力为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$,回收率为 50% ,采用一级两段的排列方式(3:2)。膜材质为聚酰胺,平均膜通量为 $7 \sim 12 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。主要配套设备:浓水反渗透增压泵、保安过滤器、高压泵、浓水反渗透装置和辅助系统(阻垢剂加药装

置、盐酸加药装置)。

4 运行效果分析

浓盐水处理及回用工程投产运行期间,设备运转稳定,处理效果良好,回用水能够连续外供,且水质满足设计要求。

4.1 总进、出水 TDS

总进、出水 TDS 变化见图 2。整个浓盐水处理系统进水 TDS 在 4000 mg/L 左右波动,出水 TDS 平均值为 262 mg/L ,远远低于《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中工艺与产品用水水质标准(1000 mg/L),系统 TDS 平均去除率达到 93.3% 。

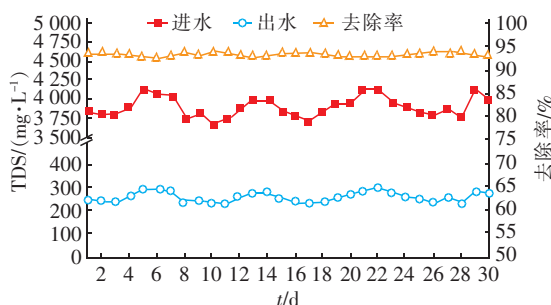


图2 系统总进、出水 TDS 变化

Fig. 2 Change of TDS in influent and effluent

4.2 进、出水水量

系统总进水量及产水率变化见图 3。自清洗过滤器处理后进入微滤系统的水量约为 $155 \text{ m}^3/\text{h}$,整个处理系统的平均出水量为 $121.3 \text{ m}^3/\text{h}$,包括反渗透平均出水量($111 \text{ m}^3/\text{h}$)与浓水反渗透平均出水量($10.3 \text{ m}^3/\text{h}$),整个处理系统产水率约为 78.8% 。

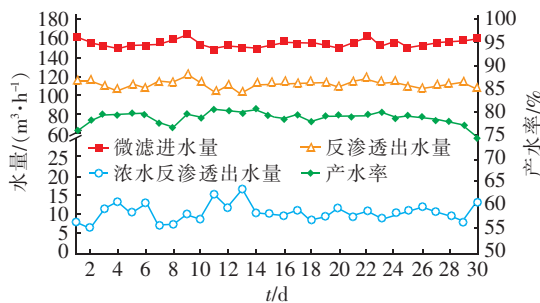


图3 系统总进水量及产水率变化

Fig. 3 Variation of total influent volume and water yield rate

4.3 最终超浓水水质

最终超浓水水质变化见图 4。浓水纳滤系统和浓水反渗透系统产生的最终超浓水 COD 平均为 22.39 mg/L ,总氮平均为 11.28 mg/L ,氨氮平均为 3.12 mg/L ,均低于《钢铁工业水污染物排放标准》

(GB 13456—2012) 的 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、总氮 $\leq 15 \text{ mg/L}$ 、氨氮 $\leq 5 \text{ mg/L}$ 的要求。

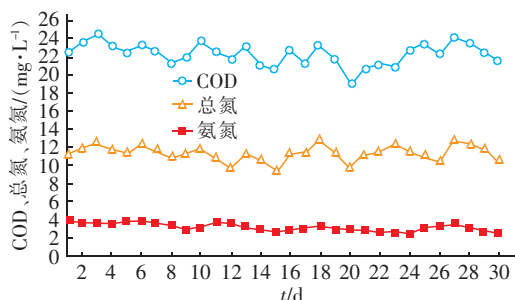


图4 最终超浓水水质

Fig. 4 Final super concentrated water quality

5 效益分析

浓盐水处理系统运行成本主要包括电费、化学药剂费和人工费等。其中,电费为 9 438 元/d,按电价为 0.53 元/(kW·h)计;化学药剂费用为 1 749 元/d;人工费合计为 3 825 元/d;压缩空气等介质费用为 1 052 元/d;反渗透膜、纳滤膜、微滤膜耗损费用为 1 132 元/d。浓盐水处理系统运行成本合计为 17 196 元/d,按浓盐水设计处理量为 155 m³/h 计,则其运行成本为 4.62 元/m³。

浓盐水的有效处理减少了厂区排污量,同时为焦化厂提供 121.3 m³/h 的回用水作为循环水系统补水,剩余最终超浓水用于厂区高炉冲渣或掺入烧结配料。

6 结论

采用微滤+纳滤+反渗透工艺对某钢铁企业浓盐水进行处理及回用,效果良好,运行成本为 4.62 元/m³,总产水率为 78.8%。回用水水质达到了工业用水水质要求,由浓水纳滤系统和浓水反渗透系统产生的最终超浓水水质满足《钢铁工业水污染物排放标准》(GB 13456—2012),可用于厂区高炉冲渣或掺入烧结配料。该工程案例经验可为其他钢铁企业浓盐水处理提供借鉴。

参考文献:

- [1] 祝群力. 天津某钢铁企业浓盐水资源化工程实例[J]. 广东化工,2018,45(14):75-77.
Zhu Qunli. An example of a brine resource project in a steel company in Tianjin [J]. Guangdong Chemical Industry,2018,45(14):75-77(in Chinese).
- [2] 邓平,巩磊,郑云霞. 钢铁企业污水深度处理后浓盐水处理实践[J]. 中国冶金,2018,28(10):67-71.

Deng Ping, Gong Lei, Zheng Yunxia. Practice of concentrated water treatment after desalination treatment of wastewater in iron and steel enterprises [J]. China Metallurgy,2018,28(10):67-71(in Chinese).

- [3] 岳丽芳,王春慧,周红星,等. 钢铁企业综合废水处理及回用工程实例[J]. 水处理技术,2019,45(3):133-136.
Yue Lifang, Wang Chunhui, Zhou Hongxing, et al. Engineering project of comprehensive wastewater treatment and reuse of iron and steel enterprise [J]. Technology of Water Treatment,2019,45(3):133-136(in Chinese).
- [4] 罗金华. 钢铁工业废水零排放中的浓盐水处理技术[J]. 冶金动力,2011(2):57-59.
Luo Jinhua. Concentrated saline processing in zero-emission of iron and steel industry wastewater [J]. Metallurgical Power,2011(2):57-59(in Chinese).
- [5] 全延忠. 工业园区高盐废水处理回用技术的应用研究[J]. 水处理技术,2017,43(6):56-59,72.
Tong Yanzhong. Application research of high salinity wastewater treatment and reuse technology in industrial parks[J]. Technology of Water Treatment,2017,43(6):56-59,72(in Chinese).
- [6] 贾萌,杨郭,袁基刚,等. 膜组合工艺处理工业园区含盐废水中试研究[J]. 中国给水排水,2018,34(11):84-87.
Jia Meng, Yang Guo, Yuan Jigang, et al. Pilot-scale treatment of salty wastewater from industrial parks by membrane combination process [J]. China Water & Wastewater,2018,34(11):84-87(in Chinese).



作者简介:岳丽芳(1981—),女,内蒙古乌兰察布人,硕士,讲师,从事给排水的教学工作。

E-mail:yuelifang81@163.com

收稿日期:2019-08-03