

非常规水源作为钢铁企业供水水源的可行性研究

石 岩^{1,2}, 唐运平¹, 季 民², 许丹宇¹

(1. 天津市环境保护科学研究院, 天津 300191; 2. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘 要: 以天津市某大型钢铁企业为研究对象, 通过对钢铁企业废水、城镇生活污水、工业废水、雨水等非常规水源的水质特征、处理工艺、再生水水质特征及回用途径等方面进行研究, 探讨了非常规水源作为钢铁企业供水水源的可行性, 以期对北方严重缺水地区钢铁企业的治污开源提供参考。结果表明, 非常规水源再生回用能够满足企业生产用水水质和水量的要求, 能为企业节约大量的用水费用, 为企业和周边城镇节水减排做出贡献, 具有技术及经济可行性。

关键词: 非常规水源; 钢铁企业废水; 生活污水; 工业废水; 再生回用

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2011)07-0087-04

Feasibility of Using Non-conventional Water Source as Water Supply Source for Iron and Steel Enterprise

SHI Yan^{1,2}, TANG Yun-ping¹, JI Min², XU Dan-yu¹

(1. Tianjin Academy of Environmental Science, Tianjin 300191, China; 2. School of Environmental Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A large iron and steel enterprise in Tianjin was selected as the research object. Through the analysis of water quality characteristics and treatment processes of non-conventional water source, such as iron and steel wastewater, domestic sewage, industrial wastewater and stormwater, and water quality characteristics and reuse approaches of reclaimed water, the feasibility of using non-conventional water source as water supply source for iron and steel enterprise was explored in order to provide a reference for the enterprises in serious water shortage areas in northern China. The results show that reclaimed non-conventional water source is able to meet the production requirements of water quality and quantity. Using non-conventional water source can save a lot of expenses for enterprises and contribute to water conservation and wastewater reduction for enterprises and peripheral towns, and it is feasible in technology and economy.

Key words: non-conventional water source; iron and steel wastewater; domestic sewage; industrial wastewater; reclamation and reuse

非常规水源是区别于传统意义上的地表水、地下水的水资源, 主要包括工业废水、生活污水、雨水、海水、矿井水、苦咸水等, 其特点是经过处理后可再生利用。非常规水源作为水资源的重要组成部分,

其开发利用对于缓解水资源短缺、促进水资源合理利用、支撑经济社会可持续发展具有重要作用。

钢铁企业是用水和废水排放大户。随着我国钢铁工业的高速发展,巨大的用水需求不仅加重了企业的经济负担,也给城市供水带来了压力。如果钢铁企业能够采用非常规水源再生供水,既可以极大地节约地下水和地表水,也可将工业废水、生活污水、雨水等变废为宝,充分体现了“节水减排”的方针。

1 非常规水源水质特征

为了解决长期困扰企业的水资源紧缺和水质差的问题,天津某大型钢铁企业于 2008 年 7 月建成了废水处理与再生回用项目并投入运行。该项目以企业自身废水、城镇生活污水、工业废水、雨水等非常规多源废水为处理对象,设计处理规模为 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际运行约 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二期工程建成后处理规模将达到 $7.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ [1]。

非常规水源水质特征见表 1。

表 1 非常规水源水质特征

Tab. 1 Water quality of non-conventional water source

项 目	钢铁企业废水	城镇生产、生活污水	40 hm ² 的水塘水
COD/(mg · L ⁻¹)	313	139	117
BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	12.2	5.27	未检出
TN/(mg · L ⁻¹)	51.7	6.63	5.41
TP/(mg · L ⁻¹)	2.03	0.35	0.43
pH 值	7.87	8.41	8.42
浊度/NTU	72.9	12.6	8.97
总硬度/(mg · L ⁻¹)	416	470	527
总碱度/(mg · L ⁻¹)	488	397	424
全盐量/(mg · L ⁻¹)	2 720	3 140	3 110
总铁/(mg · L ⁻¹)	0.721	0.339	0.172
Cl ⁻ /(mg · L ⁻¹)	1 077	1 292	1 364
SO ₄ ²⁻ /(mg · L ⁻¹)	388	467	439

钢铁企业自身排放的废水主要来自焦化、炼铁、炼钢、轧钢等生产环节的外排废水和厂区生活污水,由表 1 可以看出,该类水呈弱碱性、可生化性差、浊度高、含盐量较高,特别是腐蚀性离子 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 的含量较高。为了更深入地了解钢铁企业废水中有有机物的构成情况,取样进行了 GC/MS 定性分析。结果表明,钢铁企业废水中有机物组成复杂,共检测出有机物 53 种,包括烷烃、芳烃、羧酸、酮类、酯类等。其中,主要为对二甲苯、6-叔丁基间甲酚、2-羟基萘、2-苯基-2-丙醇、邻苯二甲酸二丁酯、1,3-二

氯苯、二苯胺等芳香族化合物,这是导致钢铁企业废水可生化性差的主要原因。

钢铁企业废水即便全部再生回用也远不能满足钢铁生产的水量需求,将周边城镇工业废水和生活污水作为钢铁企业的补充水源是非常合理的,该类水不仅水量充足,引水经济便捷,而且能减轻所在地区城镇污水处理厂的运行压力。由表 1 可知,该地区城镇生产、生活废水呈碱性,pH 值为 8.41;废水含盐量较高,全盐量达到 3 140 mg/L;浊度为 12.6 NTU,低于钢铁企业废水的浊度值(72.9 NTU)。对该类废水进行 GC/MS 定性分析,共检测出有机物 12 种,分别为间甲酚、奥昔菊环、喹啉、2-叔丁基对甲苯酚、酞酸二甲酯、2,4-二叔丁基苯酚、萘、邻苯二甲酸丁基甲基二酯、菲、邻苯二甲酸异丁基辛基二酯、邻苯二甲酸二丁酯、茚蒎。这些有机物中绝大多数为难降解有机物,可以推断城镇废水中工业废水占相当大的比例。

企业周边有 40 hm² 的天然水塘,可以存储过境雨水,作为企业的补充水源。由表 1 可知,该类水呈碱性,pH 值为 8.42;由于地处北方滨海盐碱地区,水塘水含盐量较高,全盐量达到了 3 110 mg/L,腐蚀性离子 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 的含量也比较高。

2 非常规水源处理工艺

非常规水源处理工艺流程如图 1 所示。

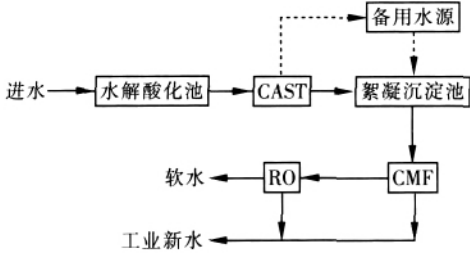


图 1 非常规水源处理工艺流程

Fig. 1 Treatment process of non-conventional water source

进水由钢铁企业自身废水和城镇生产与生活废水按照 7 : 2 的流量比混合而成,针对混合进水的水质特征,设计处理工艺主要包括水解酸化、循环式活性污泥法(CAST)、絮凝沉淀、连续微滤(CMF)、反渗透(RO)几部分。进水首先经水解酸化反应将不溶性有机物水解成溶解性有机物、大分子物质分解成小分子物质,提高废水的可生化性,然后进入 CAST 系统进行生物去碳、脱氮和除磷,出水经絮凝沉淀进一步去除难降解有机污染物,最后采用 CMF/RO 双膜系统作为深度和脱盐处理工艺。其

中 ,CMF 膜组件作为 RO 的前处理 ,采用聚偏氟乙烯 (PVDF) 材料生产的中空纤维膜 ,截留孔径为 0. 2 μm ,可去除水中粒径 $>0.2\ \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒杂质 ,对细菌总数和大肠菌群的去 除率可大于 99% ,使出水 SDI <3 ; RO 膜组件采用 BW30 - 365FR 抗污染复合膜 ,因进水含盐量较高 ,故在每套反渗透两段间设置一台增压泵。

40 hm^2 的水塘水为备用水源 ,当前端生化出水水质恶劣时 ,可将水塘水泵入絮凝沉淀池 ,以保证 CMF/RO 双膜系统的正常运行 ;当再生水水量过剩时 ,生化出水可部分存入水塘 ,以确保厂区供水的稳定性。

3 再生水水质特征及回用途

非常规水源经废水处理工艺处理后 ,再生水的水质特征见表 2。

表 2 再生水水质特征
Tab. 2 Quality of recycled water

项 目	CMF 产水	RO 产水	CMF/RO 混合水
COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	164	未检出	58.5
TN/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	40.6	3.5	10.5
TP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.431	未检出	0.196
pH 值	7.92	6.84	7.19
浊度/NTU	1.24	0.35	0.88
总硬度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	423	10.1	215
总碱度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	369	30.3	352
全盐量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3 270	3 110	2 050
Cl^- /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 082	35.9	480
SO_4^{2-} /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	418	未检出	207

由表 2 可以看出 ,CMF 产水属于高含盐量、高硬度水质 ,需按一定比例混合经 RO 膜处理过的脱盐水才能达到回用的要求。CMF 产水和 RO 产水混合后 (简称 CMF/RO 混合水) 水质呈中性 ,COD、TN、TP 值分别降至 58.5、10.5 和 0.196 mg/L 。腐蚀性离子 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的含量仍较高 ,因此对 CMF/RO 混合水进行静态腐蚀试验研究 ,试验装置为 RCC - II 型旋转挂片腐蚀试验仪 ,旋转挂片分别采用碳钢、不锈钢、铜材质 ,试验方法参照中国石油化工总公司编制的《冷却水分析和试验方法》。结果表明 ,碳钢腐蚀速率很高 ,达到 0.755 mm/a ,不锈钢的腐蚀速率达到 0.013 mm/a ,铜材质的腐蚀速率达到 0.012 mm/a 。可见 ,当以 CMF/RO 混合水作为钢铁企业用水系统的补充水时 ,水系统的腐蚀问题

是最为突出的问题 ,筛选水处理效果较好的缓蚀阻垢剂复合配方 ,以及确定与之相配套的水处理实施方案是确保再生水安全回用的重要手段。

RO 主要用于脱除废水中的可溶性盐、胶体、有机物及微生物。从 RO 产水的水质分析结果可以看出 ,CMF 产水经过 RO 膜深度处理后出水水质呈中性 ,COD、TN、TP、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等污染物的浓度都大幅降低 ,特别是废水中盐分得到了有效去除 ,脱盐率 $>99\%$ 。

根据再生水水质的不同 ,CMF/RO 混合水作为工业新水 ,主要回用于炼铁、炼钢、连铸、轧钢等敞开式循环冷却水系统的补充水 ;RO 产水作为软水 ,主要回用于密闭式循环冷却水系统的补充水 ,如炉体、氧枪、结晶器等关键设备的间接冷却水 ,以及高速线材、制氧厂、锅炉系统等对水质要求高的用水户。

4 非常规水源作为企业供水水源的可行性

企业水资源循环利用模式见图 2。

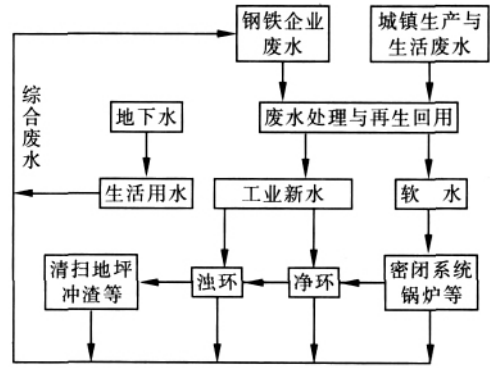


图 2 企业水资源循环利用模式

Fig. 2 Model of water resource recycling

在废水处理与再生回用项目建成前 ,企业供水水源主要为地下水和地表水。地下水主要来自厂区东南的深井泵站 ,地表水来自厂区东侧的天然水塘。据统计 ,水塘每年向厂区供水量为 $180 \times 10^4\ \text{m}^3$,为保持水塘的水量平衡 ,必须采用地下水进行补给 ,结果导致地下水严重超采。另外 ,水塘水质也不能满足厂区冷却水系统的水质要求 ,多数循环水系统改为直流式 ,造成水资源的严重浪费。此外 ,厂区废水未经达标处理直接排入地表工业水源 ,严重影响工业水水质和周边环境。企业建成废水处理与再生回用项目后 ,除厂区生活用水仍取自地下水外 ,生产用水全部由企业自身废水、城镇生产与生活废水等非常规水源再生后的工业新水和软水提供 ,不仅极大降低了地下水、地表水的耗用量 ,而且企业自身废水

全部得到回收利用,真正达到了废水的“零排放”。企业内部根据各用水户的水质要求进行分质供水,在此基础上通过水夹点分析建立最优化串级补水系统,实现企业内部水资源的高效利用、循环利用和串级利用。

通过分析这一年多废水处理工艺的运行情况和企业内部再生水的利用情况可知,非常规水源作为钢铁企业的用水水源具有可行性,主要体现在以下几方面:

① 非常规水源经“水解酸化/CAST/絮凝沉淀/双膜”组合工艺处理后,CMF/RO 混合水、RO 产水水质分别能够满足企业内部规定的生产新水水质标准和软化水水质标准。废水处理工艺的抗冲击负荷能力强,当进水水质在一定范围内发生波动时,能够确保再生水水质的稳定性,如遇进水水质恶化等突发状况时,可紧急启动水塘备用水源,确保向厂区供水的稳定性。

② 通过对企业内部再生水利用进行平衡统计(见表 3)可以看出,以企业自身废水和城镇生产与生活废水为再生水源,向厂区提供的工业新水(CMF/RO 混合水)和软水(RO 产水)能够满足厂区再生水的需求量。由于城镇生产与生活废水水量充足,可根据厂区废水排放量和再生水需求量实时调整城镇废水处理量,以维持全厂水资源的动态平衡。

表 3 厂区再生水量平衡统计

Tab. 3 Statistics of recycled water balance

$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

项 目		工业新水	软水
用水户	动力厂	170	15
	焦化厂	39	0
	烧结厂	14	0
	炼铁厂	390	12
	炼钢厂	240	140
	轧钢厂	120	28
	高线	20	110
	制氧厂	65	0
	回转窑	36	0
	转底炉	120	12
	消防	20	0
	其他	10	0

注: 工业新水和软水的最大供水量分别为 1 300、380 m^3/h , 剩余水量分别为 56、63 m^3/h 。

③ 从 2008 年 10 月到 2010 年 3 月,再生水厂

累计为企业供水量为 $1\,530 \times 10^4 \text{ m}^3$,自来水费按 6 元/ m^3 计,扣除再生水生产成本约为 3.2 元/ m^3 ,折合节省自来水费为 4 284 万元。可见,虽然建设非常规水源处理项目需要耗费一定的资金,但从长远的角度考虑,能为企业节约大量的用水费用,具有经济可行性。

④ 从 2008 年 10 月到 2010 年 3 月,再生水厂累计处理企业废水量为 $1\,190 \times 10^4 \text{ m}^3$,削减 COD 量为 1 654.1 t、TN 量为 78.9 t、TP 量为 24.8 t; 累计处理城镇生产与生活废水量为 $340 \times 10^4 \text{ m}^3$,削减 COD 量为 262.5 t、TN 量为 42.2 t、TP 量为 1.7 t,为企业和周边城镇的节污减排做出了贡献。

5 结 论

① 本着节流先行,治污为本,多渠道开源的原则,以天津市某大型钢铁企业为研究对象,探讨企业自身废水、城镇生产与生活废水等非常规水源作为钢铁企业供水水源的可行性。钢铁企业废水和城镇生产与生活废水都具有含盐量高、可生化性差的特点。GC/MS 定性分析结果表明,这两种废水中所含有机物多为芳香族难降解有机物,这是导致废水可生化性差的主要原因。

② 针对非常规水源的水质特征,采用“水解酸化/CAST/絮凝沉淀/CMF/RO”组合工艺进行废水处理与再生回用。CMF/RO 混合水作为工业新水,主要回用于敞开式循环冷却水系统的补充水;RO 产水作为软水,主要回用于密闭式循环冷却水系统的补充水以及制氧厂、锅炉系统等对水质要求高的用水户。

③ 对非常规水源作为钢铁企业的供水水源进行技术和经济可行性分析,结果表明,非常规水源再生回用能够满足企业用水水质和水量的要求,能为企业节约大量的用水费用,为企业和周边城镇的节污减排做出贡献。

参考文献:

[1] 许丹宇,唐运平,张志扬,等. CAST/双膜系统用于钢铁厂废水的处理与回用[J]. 中国给水排水,2009,25(10):1-4.

E-mail: shiyan800712@yahoo. com. cn

收稿日期:2010-11-12