



推荐阅读:

[广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析](#)

[平顶山市煤矿区土壤重金属污染程度评价](#)

[基于灰色关联分析法的宜昌市空气质量影响因素分析](#)

[废旧锂离子电池流向及管理现状调研](#)

[生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景](#)

[环境敏感区农村生活污水处理工艺设计案例分析](#)

[氨法脱硫+低温 SCR 脱硝工艺在焦炉烟气净化中的应用](#)

[反渗透双膜工艺处理印染废水研究进展](#)

[重金属污染土壤修复技术研究进展](#)

[基于 SARIMA 模型的二氧化氮时间序列预测研究](#)

[碳基功能材料在土壤修复中的应用](#)

[虾蟹壳对水中刚果红吸附性能的研究](#)

[农村生活垃圾生物质热解和燃烧气相数值模拟](#)

[基于灰色 GM\(1, 1\)模型的成都市大气污染物浓度预测](#)

[江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究](#)

[欧盟 15 国污水污泥产生量与处理处置方法对比](#)

[基于 Hydrus-1D 的粉煤灰堆场 Cr\(VI\) 在包气带中迁移规律的研究](#)

[工业废水活性炭深度处理的研究](#)



移动扫码阅读

卢斯煜,陈凯,李建飞,等.高硬度电镀废水中水回用工程实例分析[J].能源环境保护,2020,34(3):57-61.
LU Siyu, CHEN Kai, LI Jianfei, et al. An engineering example of reuse of electroplating wastewater with high hardness[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(3): 57-61.

高硬度电镀废水中水回用工程实例分析

卢斯煜,陈凯,李建飞,柴少龙,罗伟锋

(煤科集团杭州环保研究院有限公司,浙江杭州 311201)

摘要:台州某电镀企业采用“软化+砂滤+超滤+反渗透”组合工艺深度处理高硬度电镀废水,实现了再生废水的回用。工程处理规模为150 t/d,出水水质为 $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$,电导率 $\leq 300 \mu\text{S/cm}$, $\text{SS} \leq 10 \text{ mg/L}$, $\text{pH} 6 \sim 9$,回用率 $\geq 50\%$ 。该工程总投资100万元,直接运行成本为13.88元/t,软化处理和反渗透系统CIP在线清洗提高了工艺运行的稳定性,减少了反渗透膜的污堵。

关键词:高硬度;深度处理;中水回用;工程实例

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)03-0057-05

An engineering example of reuse of electroplating wastewater with high hardness

LU Siyu, CHEN Kai, LI Jianfei, CHAI Shaolong, LUO Weifeng

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

Abstract: A combined process of "softening + sand filtration + ultrafiltration (UF) + reverse osmosis (RO)" is adopted to advancedly treat high hardness electroplating wastewater in an electroplating enterprise in Taizhou to reuse regenerated wastewater. In this project, the processing scale is 150 t/d. The effluent quality is $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$, conductivity $\leq 300 \mu\text{S/cm}$, $\text{SS} \leq 10 \text{ mg/L}$, $\text{pH} = 6 \sim 9$, and recycling rate $\geq 50\%$. The total investment is 1 million yuan, and the direct operating cost is 13.88 yuan/t. Softening treatment and CIP online cleaning of RO system improve the operation stability and reduce the fouling of the RO membrane.

Key Words: High hardness; Advanced treatment; Reclaimed water reuse; Engineering example

0 引言

近年来我国电镀行业企业数量呈现逐年增加的态势,截至2018年我国已成为电镀加工大国。绝大部分的电镀企业分布在华南、华东及沿海制造业比较发达的地区,其中台州部分地区还存在新增中小型电镀企业速度快、密度高的现象。鉴于此现象当地的环境保护管理部门为控制该地区电镀废水排放总量对当地电镀企业达标排放的水量进行了更严格的控制,故当地电镀企业必须进行减量生产或对增加达标排放水再利用工艺。目

前台州某电镀企业运营状态良好无法减量生产,故需要对原污水站进行改造,增设中水回用工艺工程,通过比较电镀废水回用技术常用的反渗透过滤法、电渗析技术和离子交换树脂三种工艺的优缺点^[1],结合该电镀企业现有的人员配置、场地限值等因素后选择了在我国比较成熟且具有人员操作简便及设备占地面积小等优势的反渗透过滤法。反渗透过滤法的缺陷在于反渗透膜在使用过程中受待处理水水质影响极大,若水质较差容易发生反渗透膜不可逆污堵问题从而必须更换新的反渗透膜,这将造成额外的经济损失^[2],而该电镀

企业日常运营过程中为控制成本,在不影响污水站出水指标的前提下使用石灰代替片碱进行电镀废水 pH 调节,导致出水硬度极高($\text{Ca}^{2+} > 3\ 000\ \text{mg/L}$)达到特硬水等级^[3-4],为保证反渗透膜的正常使用必须对污水站出水进行软化处理。在吸取前人的经验基础上,通过多方研究后决定采用“软化+砂滤+UF+RO”组合工艺进行污水站中水回用,辅以 CIP(在线清洗)工艺进行新增系统的日常维护。本工程于 2017 年 11 月下旬安装调试结束并投产使用,至今系统运行稳定,处理效果良好,可为电镀企业污水站高硬度排放水回用改造提供较好的借鉴。

1 项目概况

台州某电镀企业污水站原有达标排放 150 t/d 电镀废水,出水重金属浓度达到《电镀污染物排放标准》(GB 21900—2008)新建企业水污染物浓度排放限值要求,其余指标达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级标准。企业为减少污水站排水量需要增设一套污水站中水回用系统,现结合电镀企业电镀线用水水质要求,在保证中水回用系统回用率 $\geq 50\%$ 的基础上对回用系统的进水水质和回用水质做出了明确要求(其中污水站出水还需进行软化处理此时的电导率测定无意义,为达到回用水质要求只需保证超滤产水电导率 $\leq 30\ 000\ \mu\text{S/cm}$;污水站出水的钙离子则会对反渗透膜造成污堵,为保证反渗透系统的稳定运行需要保证一体式组合软化池出水钙含量 $\leq 20\ \text{mg/L}$),水质具体要求见表 1。

表 1 设计进水水质和回用水水质

序号	进水水质	回用水质	备注
pH	6~9	6~9	—
$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 380	≤ 20	—
$\text{SS}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 400	≤ 10	—
$\text{Ca}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\leq 6\ 000$	—	软化池出水 ≤ 50
电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$	—	≤ 300	—

2 工艺流程

污水站放流池中水通过水泵抽入一体式组合软化沉淀池,组合池内中水依次通过软化池、快混池和慢混池,在搅拌机的搅拌作用下使中水和药剂充分接触后进入斜管沉淀池进行固液分离,上清液通过溢流堰流至中间水槽;中间水槽水经水泵抽入砂滤器过滤净化后流入 pH 调节槽,在槽内通过酸碱加药系统在 pH 探头实时监测的控制下调节水体 pH 至中性后进入 UF 原水池;之后水经超滤系统和两级反渗透系统处理后获得高品质水返回企业车间内再次使用。

一体式组合沉淀池产生的污泥主要成分为碳酸钙,定期通过污泥泵排入污水站污泥池中统一压泥处理,产生的滤液回污水站前端混合处理,成型泥饼定期委外处理。

反渗透系统在运行过程中污染物会在浓水侧富集,一级反渗透富集浓水内会含较多的杂质故返回污水站前端混合处理,由于二级反渗透用于一级反渗透产水品质提升,水体自身的污染物浓度较低,故产生的富集浓水返回一级反渗透系统前端再次利用。详细工艺流程详见图 1。

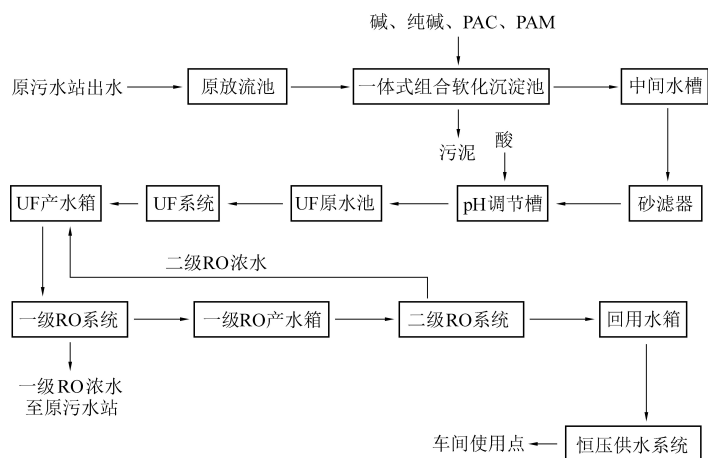


图 1 中水回用处理工艺流程图

3 主要构筑物设计

本工程主要构筑物见表 2。

3.1 一体式组合软化沉淀池

一体式组合软化沉淀池由软化池、快混池、慢混池、pH 调节池和斜管沉淀池组合而成,各反应池之间共用隔墙,沉淀池选用表面负荷较大的斜

管沉淀方式,通过池体结构优化以节约占地面积。系统运行时软化池中加药系统会自动投加过量的纯碱引入碳酸根离子,同时通过投加液碱调节水体的 pH 维持在 10~12 之间,污水站中水通过搅拌机搅拌作用充分与药剂接触反应形成碳酸钙沉淀,反应后的水流经快、慢混池加药混凝后流入斜管沉淀池中沉淀,上清液通过溢流堰流入中间水

表 2 主要构筑物一览表

序号	名称	规格	材质	单位	数量	备注
1	一体式组合软化沉淀池	100 m ³ , L9.0 m×W4.0 m×H4.5 m	钢结构/三布五油防腐	座	1	含 pH 调节槽
2	砂滤器	φ1.8 m×H3.6 m	A3/防腐	只	1	利旧
3	UF 设备	L7.0 m×W1.2 m×H2.0 m	SS	套	1	—
4	RO 设备	L2.0 m×W1.2 m×H2.2 m	SS	套	2	两级 RO

槽,沉淀池底部污泥通过水泵输送至污水站的污泥收集池经压滤机压成泥饼后处理。

一体式组合沉淀池内发生软化作用的“纯碱+液碱”的组合软化工艺通过碳酸钙的溶度积常数^[5]和碳酸在不同 pH 水体中存在的形态确定,药剂投加量及最佳反应 pH 则通过后期工况调试确定。

3.2 砂滤器

企业污水站内原有配套管路完整的滤器罐体,但因污水站处理工艺修改遭废弃,在本工程中考虑到一体式组合软化沉淀池出水水质会受到污水站出水水质波动影响,为了提高系统整体抗冲击能力在组合沉淀池出水后接入过滤器过滤,一方面提高系统整体的抗冲击能力,一方面也将废弃滤器罐体再次利用起来。本工程中过滤器过滤介质采用石英砂填料故称砂滤器,用于去除生化沉淀出水中残留的颗粒、胶体物质、悬浮固体等,以提高水质,增强系统抗冲击能力,保证后续工序的正常运转。

3.3 超滤(UF)系统

超滤(UF)工艺^[6]在砂滤器过滤作用后进一步去除水中的杂质,该系统在一定压力下,当水流过膜表面时,只允许水、无机盐和小分子物质透过膜,而截留水中的悬浮物、胶体和微生物,以达到净化分离的目的。本系统中超滤膜过水的运行方式采用死端过滤方式,将所有的进水在压力差的作用下透过超滤膜,把进水中的杂质截留在超滤膜上,并辅以频繁水反洗技术去除截留在超滤膜表面的杂质,以保证膜系统稳定的产水量,并提高系统的水利用率,使系统运行更稳定。

3.4 反渗透(RO)系统

反渗透(RO)技术^[7]作为中水回用的核心步骤,本工程中采用的反渗透膜元件具有脱盐率高、透过速度快、机械强度高、抗污染性能好等特点。超滤产水经过两级反渗透膜系统处理后的产水进入回用水池,经节能变频恒压供水系统送至企业车间用水点,一级反渗透污染物富集浓水返回台州某电镀公司企业配套的企业内污水站和原处理水混合后处理,二级反渗透污染物富集浓水由于污染物浓度较低可以返回超滤产水箱再次处理提高中水回用率。两级反渗透膜管数量采用 3:1 (一级膜数量:二级膜数量)的比例进行处理,在安装过程中反渗透膜管架采用垂直叠加式制作,在平面空间上做到了尽可能小的占地面积。

本工程虽然采用了“砂滤器+超滤系统”的串联工艺作为反渗透系统的预处理模块,但反渗透系统的膜元件不被污染是不现实的。为确保系统的长期稳定运行,本工程反渗透系统配有在线清洗(CIP)工艺,在污堵发生后配制特定清洗液清除膜中污染物质,通过此方法可以有效地恢复膜元件的性能。

4 运行效果分析

4.1 运行情况

该工程自 2017 年 11 月下旬设备安装调试结束后开始使用,经半年多的运行,系统运行稳定,设备运行良好,处理效果可靠,达到设计要求和预期目的,排放指标均低于设计要求,系统在调试期间和运行半年后各取一周的数据,处理效果见图 2、图 3。

图中所示数据的水样分别取于一体式组合软

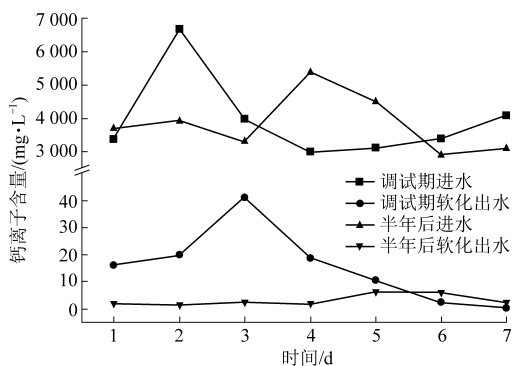
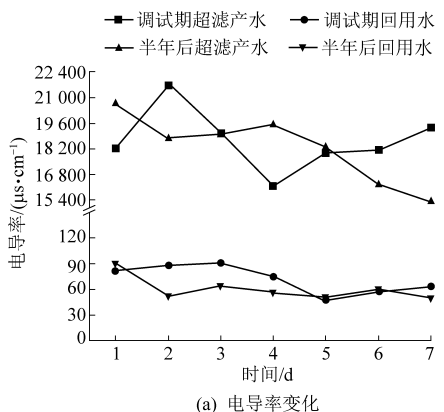
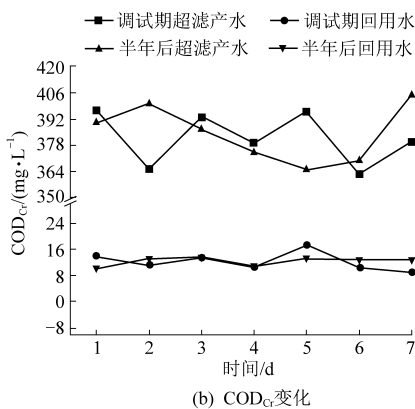
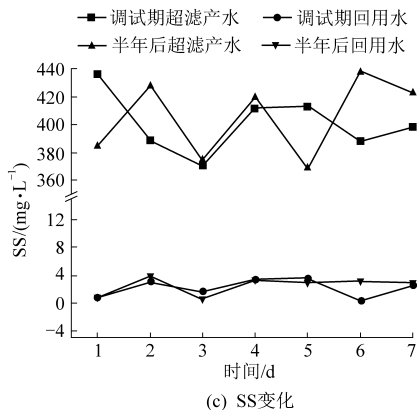


图2 软化处理前后钙离子含量图



(a) 电导率变化

(b) COD_{Cr}变化

(c) SS变化

图3 反渗透处理前后电导率、COD_{Cr}、SS变化图

化沉淀池进水端和砂滤器出水端。从图中可以观察到,从污水站放流池中抽入的中水含有大量的

钙离子,通过调试期进水数据曲线和系统运行半年后随机抽取一周的进水数据曲线可以发现中水中钙离子含量在3 000~7 000 mg/L范围内波动。软化出水的钙离子含量有明显的减少,在调试初期软化出水的钙离子含量就达到 ≤ 50 mg/L的要求。但对于膜系统而言钙离子含量越低就越不容易造成膜污染,因此将一体式组合软化沉淀池中软化单元的pH控制点由10.5提至11.5。从图中调试期软化出水后半段数据曲线和系统运行半年后随机抽取一周的软化出水数据曲线可以看出软化出水的钙离子含量稳定 < 15 mg/L。

图中所示数据的水样分别取于超滤工艺的产水端和反渗透工艺的产水端。通过两级反渗透处理,中水电导率由14 000~20 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 稳定降至40~110 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (图3(a)电导率变化),满足回用水电导率 ≤ 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 的要求;中水COD_{Cr}由350~420 mg/L稳定降至8~20 mg/L(图3(b)COD_{Cr}变化),满足回用水COD_{Cr} ≤ 20 mg/L的要求;中水SS由360~440 mg/L稳定降至0~4 mg/L(图3(c)SS变化),满足回用水SS ≤ 10 mg/L的要求。

综上所述,本工程中通过“软化+砂滤+超滤+反渗透”组合工艺对污水站出水进行深度处理后的回用水质能够达到设计要求,且经过半年运行后系统依旧相对稳定。

4.2 直接运行成本分析

本工程总投资100万元,处理水量150 t/d,正常生产运行费用主要包括电费、药剂费、人工费、耗材费和维修费,各费用计算如下:

(1)电费:系统正常运行期间各设备的用电量构成,计算后为7.13元/t;

(2)药剂费:系统运行期间各药剂投加量构成,其中每吨水的药剂费分别为氢氧化钠0.33元/t,50%硫酸0.3元/t,PAC 0.28元/t,PAM 0.07元/t,纯碱4.07元/t组成,共计5.05元/t;

(3)人工费:系统需要专人进行操作维护,由于系统自动化程度高,岗位只需1人,结合当地工资收入情况,工资以135元/d计,则人工费为0.9元/t;

(4)耗材费:系统正常运行期间砂滤器过滤介质,日常用品,化验室易耗品等,折算后为0.69元/t;

(5)维修费:系统正常运行期间设备难免出现故障,为排除故障产生得费用,费用参考给排水手册以5 000元/月计,即维修费为0.11元/t。

(6)直接运行费用:上述费用合计为13.88元/t。

5 结语

采用“软化+砂滤+超滤+反渗透”组合工艺处理台州某电镀企业污水站达标排放的高硬度电镀污水,回用水水质稳定达到 $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 20 \text{ mg/L}$, 电导率 $\leq 300 \text{ }\mu\text{S/cm}$, $\text{SS} \leq 10 \text{ mg/L}$, $\text{pH} 6 \sim 9$, 回用率 $\geq 50\%$, 满足台州某电镀企业对回用水水质的要求。高硬度废水本身易造成反渗透膜产生不可逆的污堵,本工程中通过系统前端的废水软化处理和反渗透系统 CIP 在线清洗维护下,经半年多运行后系统各项数据指标较调试期数据无明显变化。

参考文献

[1] 李峰, 吴欲, 胡如南. 我国电镀废水处理回用的现状及探

- 讨 [J]. 电镀与精饰, 2011, 33 (10): 17-30.
- [2] 万炜. 中水回用技术的研究现状与应用前景概述 [J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2010, 20 (3): 46-49.
- [3] 陈冠荣, 时钧, 朱亚杰, 等. 化工百科全书 (第 18 卷) [M]. 北京: 化学工业出版社, 1995: 314.
- [4] 陈康, 王新华, 李秀芬, 等. 钙离子对短期膜污染的影响 [J]. 环境工程学报, 2019, 6 (2): 471-476.
- [5] 北京市市政工程设计研究总院. 给水排水设计手册-1 常用资料 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 105-106.
- [6] 王琳, 王宝贞, 王欣泽, 等. 活性炭与超滤组合工艺深度处理饮用水 [J]. 中国给水排水, 2002 (2): 1-4.
- [7] 许骏, 王志, 王纪孝, 等. 反渗透膜技术研究和应用进展 [J]. 化学工业与工程, 2010, 27 (4): 351-353.