

# 电化学处理技术在聚甲醛装置 循环水系统中的应用

韩元培\*

(河南能源集团开封龙宇化工有限公司, 河南省聚甲醛基新材料工程技术研究中心, 河南 开封 475200)

**摘要:**在聚甲醛装置循环水系统应用电化学处理技术,在pH不变的情况下,循环水浓缩倍数提高了1倍,循环水总硬度和钙硬度保持不变,循环水碱度则从925 mg/L降低到475 mg/L,大大降低了循环水结垢几率;循环水浊度从3.12 FTU降低至0.92 FTU,降低了排污水流量,循环水补水量从100 t/h减少至80 t/h,节水率达20%以上,年节约水资源费用约30万元;循环水化学药剂用量大幅降低,年节约药剂费用约15万元。

**关键词:**电化学处理技术;聚甲醛;循环水

中图分类号:TQ150.9

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)S1-0355-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.S1.064

## Application of electrochemical treatment technology in circulating water system of polyoxymethylene plant

HAN Yuan-pei\*

(Henan Provincial Polyoxymethylene Based New Material Engineering Technology Research Center,  
Kaifeng Longyu Chemical Co., Ltd., Henan Energy Group, Kaifeng 475200, China)

**Abstract:** This paper introduces the circulating water system and electrochemical treatment technology of polyoxymethylene (POM) plant. The application of electrochemical treatment technology in circulating water system reduces the make-up water amount and sewage discharge of circulating water system, reduces the amount of reagent used in the circulating water treatment, reduces the scaling rate of heat exchanger in circulating water system, improves the long-term heat exchange efficiency, and stabilizes the production. Results show that after electrochemical treatment technology is used, the concentration ratio of circulating water increases by one time, and the total hardness and calcium hardness of circulating water remain unchanged when the pH of the circulating water remains unchanged. The alkalinity of circulating water decreases from 925 mg·L<sup>-1</sup> to 475 mg·L<sup>-1</sup>, which greatly reduces the probability of scaling in circulating water. The turbidity of circulating water declines from 3.12 FTU to 0.92 FTU, which reduces the flow of sewage. The make-up amount of circulating water decreases from 100 t·h<sup>-1</sup> to 80 t·h<sup>-1</sup>, achieving a water saving rate over 20%, which saves about RMB 300 000 in annual water resource cost.

**Key words:** electrochemical treatment technology; polyoxymethylene; circulating water

某企业聚甲醛装置循环水系统主要设置2座冷却塔、4台循环泵、2台旁滤器、1套加酸装置和2套加缓蚀阻垢剂装置,循环水系统主要作用是给聚甲醛装置提供循环冷却水,确保各换热设备正常运行。循环水系统主要流程是循环水池32℃循环水通过循环水泵送往各生产装置换热设备,经过换热设备的循环水回水温度升高至42℃左右,循环水回水进入逆流式冷却塔顶,经喷头、填料与空气换热降温后落入循环水池,然后再由循环水泵提压后送往各循环水用户。其中,循环水池通过杀菌剂、缓蚀阻垢剂、浓硫酸等加药设备对该循环冷却水进行水质稳

定处理,通过旁滤器控制循环水悬浮物含量,保证换热器的换热效率;循环水池的补充水采用一次水直接进入冷却塔水池。

国内大量循环水系统的运行实践表明<sup>[1-10]</sup>,电化学技术在钢铁、水泥、石油、煤矿、化工等循环水系统中已经成功应用,节水减排、杀菌除垢效果有成效,循环水系统采用电化学处理技术有成熟可靠案例,是一种绿色环保的循环水处理技术,目前国内电化学处理技术提供厂家也越来越多。本文将电化学处理技术在聚甲醛装置循环水系统中进行了实验及应用研究。

收稿日期:2024-01-15;修回日期:2024-03-21

作者简介:韩元培(1985-),男,硕士,高级工程师,主要从事聚甲醛有关的生产管理及技术研究开发工作,通讯联系人,0371-22277867, hanyuanpei@126.com。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

循环水补充水水质数据见表 1; 电化学处理前循环水水质数据见表 2。

表 1 循环水补充水水质数据

项目	控制指标	实测值
pH	7~9	8.12
电导/ $(\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1})$	$\leq 1000$	1308.00
浊度/FTU	$\leq 15$	0.59
总硬度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 1$	101.53
$c(\text{Ca}^{2+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 50$	30.05
碱度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 500$	400.24
$c(\text{氯离子})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 100$	79.68

表 2 电化学处理前循环水水质数据

项目	控制指标	实测值
pH	7~9	8.9
电导/ $(\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1})$	$\leq 3000$	1888
浊度/FTU	$\leq 15$	3.12
总硬度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 250$	214
$c(\text{Ca}^{2+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 100$	95.1
碱度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 1000$	925
$c(\text{氯离子})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	100~350	177
总磷/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4~6	4.8
$c(\text{循环 Fe}^{3+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		0.14
浓缩倍数	2~4	2.63
COD/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		3.00

注:“控制指标”一栏空白格表示为对应项目没有控制范围,只是作为日常监控项目。

### 1.2 设备与仪器

循环水池长宽深: 36 000 mm × 26 000 mm × 1 300 mm, 钢砼结构; 冷却塔长宽高: 18 000 mm × 18 000 mm × 1 500 mm, 流量  $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{h}$ , 进回水温差  $\Delta t=10^\circ\text{C}$ , 钢砼+FRP; 风机: 直径 9.14 m, 电机功率 200 kW; 循环水泵流量  $3\,500\text{ m}^3/\text{h}$ , 电机 560 kW; 旁滤器尺寸: 9 400 mm × 4 400 mm × 6 750 mm, 流量  $4\,500\text{ m}^3/\text{h}$ ; 电化学处理装置: 型号 HXQ-10, 处理量  $300\text{ m}^3/\text{h}$ 。

### 1.3 主要步骤

循环水回水管道引出一股循环水, 流量

$200\text{ m}^3/\text{h}$  左右, 经过流量计计量后进入电化学处理装置, 经电化学处理装置内部电极板处理后的水出电化学处理装置返回循环水池, 水中钙、镁等阳离子在阴极板形成垢并富集, 累积到一定厚度后经刮垢机扫除落入垢槽进一步处理。

### 1.4 主要原理

沐宝泉等<sup>[12-17]</sup>对电化学处理技术进行了研究, 对电化学处理机理进行了阐述, 并与其他技术进行了对比, 研究结果表明电化学处理技术优势明显。电化学处理装置利用直流电作用在正、负极板间的水溶液中, 使正、负离子向极性相反的极板迁移, 发生电子得失(放电)反应。通过阴阳极板间的氧化还原反应, 使水中的钙、镁离子以沉淀的形式从出水中析出附着在内壁上, 从而达到除垢溶垢的作用, 进而降低循环水的硬度。同时利用电磁场的“晶格畸变”和“极化”效应, 在电场作用下实现阻垢效果。在电化学反应中, 电极表面会产生游离氯、次氯酸、氢氧根自由基、氧自由基、臭氧和双氧水等强氧化性物质, 它们具有很强的杀菌灭藻能力。同时, 电化学处理装置还可减少氯离子、微生物等腐蚀, 并能破坏“原电池”效应达到缓蚀效果。自动清垢原理是利用刮垢电机带动中间转轴上面的刮刀在阴极板表面转动, 并将设备中结的垢刮除, 刮除的垢通过水流和重力的作用掉落到集垢槽中, 再通过集垢槽中的螺旋推进器将水和垢排出设备外的集垢过滤器中, 水直接流入排水管网, 槽中垢渣定期处理。

## 2 结果与讨论

电化学处理后循环水水质数据见表 3。

表 3 电化学处理后循环水水质数据

项目	控制指标	实测值
pH	7~9	8.8
电导/ $(\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1})$	$\leq 3000$	2450
浊度/FTU	$\leq 15$	0.92
总硬度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 250$	244
$c(\text{Ca}^{2+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 100$	95.3
碱度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\leq 1000$	475
$c(\text{氯离子})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	100~350	280
总磷/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4~6	4.7
$c(\text{循环 Fe}^{3+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		0.11
浓缩倍数	3~6	5.52
COD/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		4.68

## 2.1 循环水补水量变化

循环水补水量变化情况见图 1。

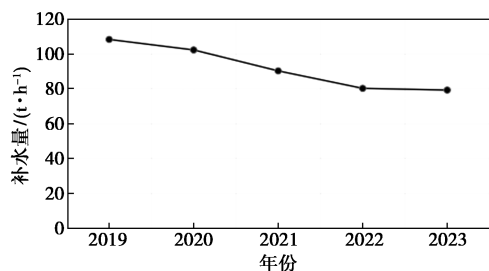


图 1 循环水补水量变化

从图 1 可以看出,循环水系统自 2021 年 6 月份开展电化学处理改造以来,循环水用水量明显降低,从 2021 年以前的 100 t/h 左右降低至 2021 年以后的 80 t/h 左右,节水效果明显,节水率超过 20%。

## 2.2 循环水浓缩倍数变化

循环水浓缩倍数变化见图 2。

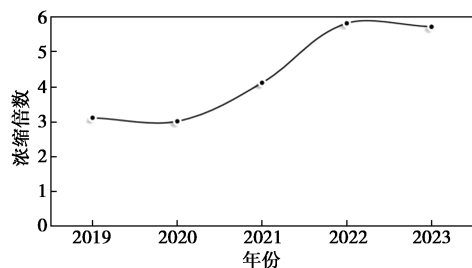


图 2 循环水浓缩倍数变化

从图 2 可以看出,电化学处理改造后,循环水浓缩倍数提升较大。

## 2.3 循环水结垢指标变化

循环水结垢指标变化见图 3。

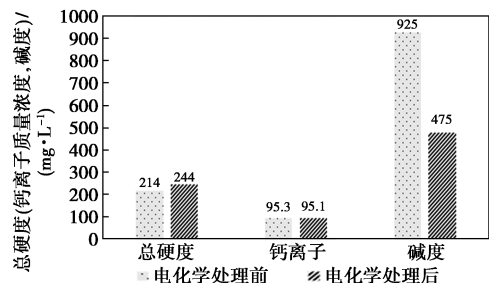


图 3 循环水结垢指标变化

从图 3 可以看出,电化学处理改造后,在浓缩倍数提高 2 倍的情况下,循环水碱度下降明显,循环水硬度基本不变,但仍在可接受范围。

## 2.4 循环水其他指标变化

循环水其他指标变化见图 4。

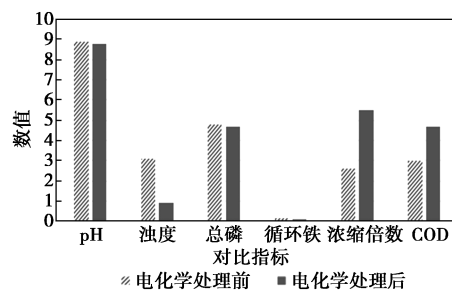


图 4 循环水其他指标变化

从图 4 可以看出,电化学处理改造后,在循环水浓缩倍数提高的情况下,循环水 pH、总磷、COD 等指标变化不大;循环水浊度从 3.12 FTU 降低至 0.92 FTU,明显降低;循环 Fe<sup>3+</sup> 从 0.14 mg/L 降低至 0.11 mg/L,降低 20%,说明电化学处理改造正向效果显著。

## 2.5 换热器清洗周期变化

林纬等<sup>[17]</sup>研究表明,电化学诱导循环水系统中的 Ca<sup>2+</sup> 在阴极板上以 CaCO<sub>3</sub> 的形式沉积,表现出良好的水软化效果,有利于延缓换热器结垢的形成。朱晖等<sup>[18]</sup>实验表明,电化学处理对循环水硬度和碱度去除处理效果明显。河南能源集团开封龙宇化工有限公司自 2021 年电化学处理改造聚甲醛装置循环水系统以来,循环水系统换热器换热效果保持稳定,各换热器温差未出现明显下降的情况,改造前循环水运行 1 年后进回水温差从 8℃ 降低至 6℃,改造后循环水系统运行 1 年后进回水温差从 7.9℃ 降低至 7.7℃。原来每年大修均需要对换热器循环水进行物理和化学清洗,电化学处理改造后 2 年多以来在用水量增加的情况下未进行过换热器清洗,换热效率未见明显下降。

## 2.6 循环水药剂消耗变化

苏艳等<sup>[19]</sup>研究表明循环冷却水的电化学除垢技术是一种主动式水处理技术,在除垢和杀菌灭藻方面效果较好。何池飞等<sup>[20]</sup>从循环冷却水中的杂质类型、腐蚀机制入手,阐述了循环冷却水电化学处理技术对除垢、杀菌和除藻的作用机理。

电化学处理改造前后循环水药剂消耗变化见表 4。

表 4 电化学处理改造前后循环水药剂消耗变化

药剂名称	氧化杀菌剂	非氧化杀菌剂	阻垢剂	浓硫酸
改造前	每次 300 kg (5 次/月)	每次 200 kg (2 次/月)	25 kg/d	9.8 l/月
改造后	每次 150 kg (2 次/月)	每次 50 kg (1 次/月)	20 kg/d	9.5 l/月

从表 4 可以看出,聚甲醛装置循环水系统电化学处理改造后,氧化性杀菌剂用量降低 80%,非氧化性杀菌剂用量降低了 87.5%,阻垢剂用量降低 20%,达到了预期应用效果。

### 3 结论

电化学处理技术在聚甲醛装置循环水系统中的应用效果显著,达到预期应用目的。在循环水 pH 不变的情况下,循环水浓缩倍数提高了 1 倍,循环水总硬度和钙硬度保持不变,循环水碱度则从 925 mg/L 降低到 475 mg/L,大大降低了循环水结垢几率;循环水浊度从 3.12 FTU 降低至 0.92 FTU,降低了排污水流量;循环水补水量从 100 t/h 减少至 80 t/h,节水率达 20% 以上,年节约水资源费用约 30 万元;循环水化学药剂用量大幅降低:氧化性杀菌剂用量降低 80%,非氧化性杀菌剂用量降低了 87.5%,阻垢剂用量降低 20%,年节约药剂采购费用约 15 万元,年增加用电费约 5 万元,总体核算经济性比化学药剂法低得多。

循环水电化学处理技术在节水、减少化学药剂使用、缓蚀阻垢等方面具有一定优势,随着电化学处理技术在不同行业、不同领域循环水系统中的应用探索和新技术的进步,其应用将有望进一步扩大。通过开发先进高效的电极材料,降低电极成本和电化学处理运行成本,提高自动化控制水平,循环水电化学处理技术将是影响未来应用的关键点,也是未来需要研究的方向。

### 参考文献

- [1] 马双忱,马岚,刘畅,等.电厂循环冷却水处理技术研究与应用进展[J].化学工业与工程,2019,36(1):38-47.
- [2] 俞念增,张利,陈磊,等.电厂尖峰循环冷却水电化学处理工程实践[J].工业水处理,2018,38(11):103-105,108.

(上接第 354 页)

### 参考文献

- [1] 宗军,吴艳萍,夏季祥,等.高压加氢与“老三套”组合工艺生产重质基础油的工业应用[J].石油炼制与化工,2015,46(10):77-82.
- [2] 王晓,宗军,吴艳萍.全精炼石蜡影响因素及改进措施研究[J].化学工程师,2021,35(7):71-75.
- [3] 王海燕,吴艳萍,任峰,等.石蜡臭味影响因素探讨与工艺改进方案研究[J].石油炼制与化工,2017,48(6):65-68.
- [4] 袁平飞,赵彬,庞晨.全精炼石蜡臭味来源分析及工艺解决方案

- [3] 王仕文,贺胜如,张连波,等.循环水电化学处理技术在大榭石化的工业化应用[J].工业水处理,2018,38(6):96-99.
- [4] 王芊倩.电力行业循环冷却水系统中电化学法工程实例[J].科学与信息化,2023,(8):102-104.
- [5] 王惠丰,史克威.基于电化学处理技术的循环水水质及节水综合解决方案探讨[J].煤炭加工与综合利用,2016,(12):36-39,65.
- [6] 何小玉,高磊,徐伟康,等.电化学处理技术在循环水旁滤系统中的应用[J].工程技术研究,2023,5(1):39-41.
- [7] 李咏昕.电化学水处理设备在循环冷却水系统中的应用[J].河北冶金,2023,(6):78-81.
- [8] 安磊.电化学水处理技术在循环水处理中的应用[J].大氮肥,2022,45(2):123-124,132.
- [9] 车凯,张天琪,杨玉坤.电化学技术在炼化循环水系统中的应用[J].石油石化节能,2020,10(6):14-17,7.
- [10] 吕锡佳,郑江勇,周元红,等.旁滤+电化学工艺在硫酸循环水系统中的应用实践[J].硫酸工业,2021,(8):19-21,25.
- [11] 沐宝泉,张淑霞.循环水电化学处理研究进展[J].化学工程师,2022,36(12):72-75,103.
- [12] 穆道彬,杨军,张程蕾,等.电化学与药剂联合处理循环水控制节水技术应用研究[J].工业水处理,2023,43(5):188-193.
- [13] 周树峰.电化学除垢技术处理石化循环水的研究进展[J].石化技术,2018,25(9):175.
- [14] 荣光辉,毛振兴,刘保录,等.循环水电化学除垢研究进展[J].化工机械,2023,50(4):448-455.
- [15] 崔云峰.循环水的电化学除硬机理研究[J].山西化工,2019,39(3):127-128.
- [16] 高欢荣.新型组合技术在循环水系统节水减排中的应用研究[J].煤炭加工与综合利用,2022,(12):74-76,81.
- [17] 林纬,夏文凤,汪威,等.脉冲和直流电场下阴极结构对 CaCO<sub>3</sub> 结晶的影响[J].工业水处理,2022,42(8):95-101.
- [18] 朱晖,张国辉,李芬芬.电化学除垢设备的应用技术研究[J].应用化工,2022,51(9):2630-2633.
- [19] 苏艳,杨阳,古克亚,等.循环冷却水系统的电化学除垢技术研究进展[J].工业水处理,2023,43(8):30-37.
- [20] 何池飞,肖宁,李静,等.循环冷却水电化学处理技术研究进展[J].工业水处理,2022,42(12):26-33. ■

[J].炼油技术与工程,2013,43(9):12-17.

- [5] 刘泓,刘毅.石蜡臭味源分析及对策[J].当代化工,2013,42(1):101-104.
- [6] 李俊涛,陈辉荣.石蜡臭味定量监控方法探讨[J].广东化工,2017,44(21):73-74.
- [7] 魏川林,吴艳萍,王海燕,等.一种降低石蜡臭味的方法及设备:CN201510189932.X[P].2015-07-22.
- [8] 周志奇,顾斌峰,赵骥龙,等.石蜡加氢产品质量分析和探讨[J].上海化工,2014,39(7):20-23.
- [9] 王广飞.食品添加剂石蜡生产技术研发及工业化生产[J].山东化工,2023,52(11):200-202. ■