

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2023.09.010

电渗析技术在电镀废水零排放方面的应用研究

季宏飞*, 李志猛, 陈金明, 龚炎华

(中国电子科技集团第43研究所 合肥恒力装备有限公司, 安徽 合肥 230088)

摘要: 为了解决电镀废水“零排放”运行成本居高不下的问题,采用电渗析技术浓缩反渗透浓水,减少废水蒸发量,从而降低运行能耗。试验证明利用电渗析浓缩技术相较于膜浓缩基础上减少了80%的废水蒸发量,使废水年运行成本节约40%。该研究介绍了电渗析技术在电镀废水“零排放”项目中的成功应用,并验证电渗析设计参数及浓缩效率,这为实现电镀废水“零排放”的节能降耗提供了新的思路,同时也为电渗析技术在电镀废水处理中的规模化应用奠定了基础。

关键词: 电镀废水;零排放;电渗析;浓缩;运行成本

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

Application of electrodialysis technology in zero discharge of electroplating wastewater

Ji Hongfei*, Li Zhimeng, Chen Jinming, Gong Yanhua

(The 43rd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation Hengli Eletek Co., Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: In order to solve the problem of high operating cost of Zero Discharge of electroplating wastewater, this paper uses electrodialysis technology to concentrate RO concentrated water, reduce wastewater evaporation, and thus reduce operating energy consumption. The test proves that the electrodialysis concentration technology reduces the evaporation of wastewater by 80% compared with membrane concentration, and saves the annual operation cost of wastewater by 40%. This study introduces the successful application of electrodialysis technology in the project of "zero discharge" of electroplating wastewater, and verifies the design parameters and concentration efficiency of electrodialysis, this provides a new idea for realizing zero discharge of electroplating wastewater and energy saving and consumption reduction, and also lays a foundation for the large-scale application of electrodialysis technology in electroplating wastewater treatment.

Keywords: electroplating wastewater; zero emissions; electrodialysis; concentration; operating costs

电镀行业在环保政策的指导下,电镀废水“零排放”技术成为水资源可持续利用的重要手段^[1-4]。目前电镀废水“零排放”处理主流技术是“物化反应处理+多介质过滤处理+膜浓缩减量化处理+蒸发结晶处理”^[5-7]。膜处理浓缩减量直接决定蒸发器的设备

处理能力及决定项目整体运行成本,目前市面电镀废水“零排放”项目吨水处理成本约为40~70元。成本高昂对生产企业负担很重,因此降低电镀废水“零排放”运行成本迫在眉睫^[8-10]。电镀废水“零排放”运行成本把控的技术关键点在于电镀废水的浓缩减

收稿日期: 2023-05-05

修回日期: 2023-07-31

作者简介: 季宏飞(1977—),男,硕士,高级工程师, email: jhflyhf@163.com

量,然而反渗透膜浓缩效率有限,废水总回用率为 80%,如果在膜浓缩末端再通过电渗析浓缩技术,则可以实现 96% 以上的废水总回用率,废水蒸发量显著减少,项目总体运营成本得到降低。

电渗析装置是在外设直流电场的作用下,并利用离子交换膜对溶液中离子进行选择透过性,将溶液中的阴离子和阳离子进行定向迁移,进而达到对溶液除盐或浓缩的目的^[11-12]。为了降低电镀废水“零排放”运行成本,引入电渗析设备末端高倍浓缩是有必要的且具备理论基础。

通过电渗析技术浓缩反渗透浓水,减少废水蒸发量,可以极大降低电镀废水“零排放”运营成本,给

电镀废水“零排放”的节能降耗提供了新的思路。

1 电渗析原理介绍

在直流电场的作用下,溶质则可以通过离子交换膜实现定向迁移,此现象被称为电渗析(ED)^[13-15]。离子交换膜是一类由大分子或化合物材料所合成的膜,具备了对离子选择性透过的特点,包含阳离子交换膜(CM)和阴离子交换膜(AM)^[16-17]。电渗析膜组器组成的基本单元是膜对,一个膜对是由一个脱盐室和一个浓缩室组成的^[18],一般一台工业应用的电渗析膜组器是由数百个膜对组成^[19]。

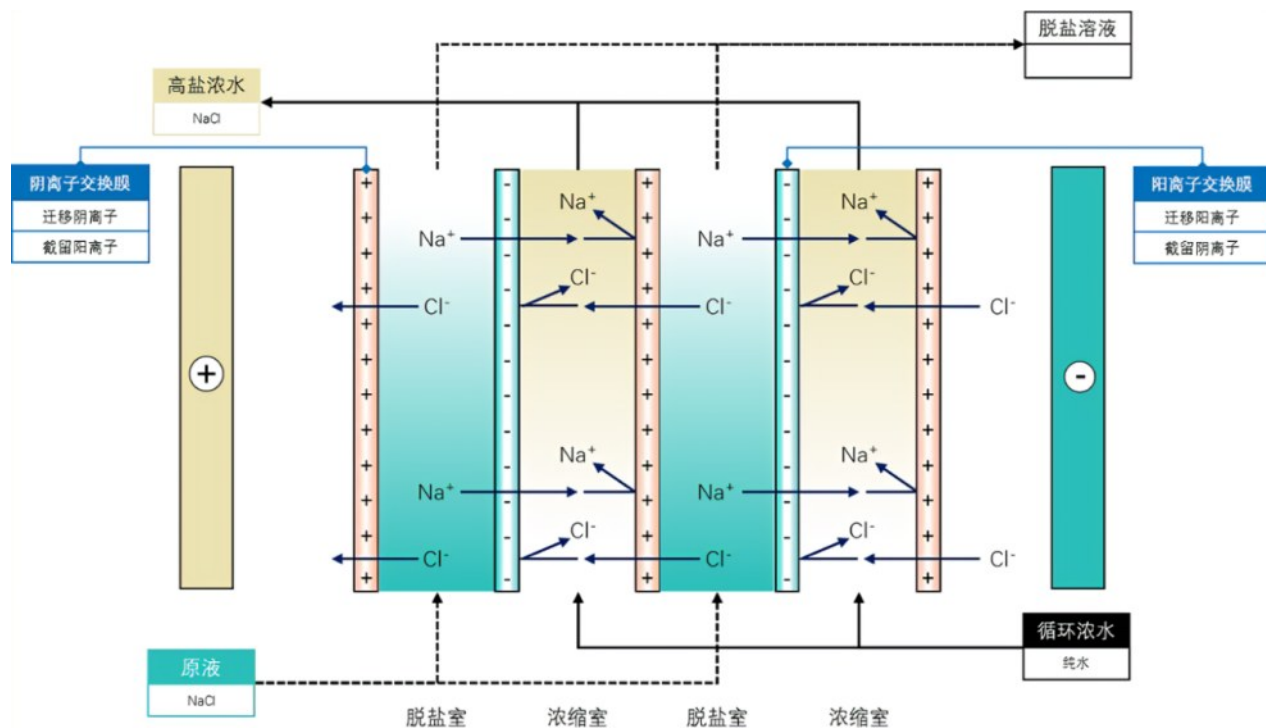


图 1 电渗析运行原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of the operation principle of electrodialysis

以氯化钠溶液为例,当氯化钠溶液进入电渗析膜组器中,通入直流电,隔室中的钠离子会透过阳膜进入相邻隔室,氯离子会透过阴膜进入相邻隔室^[20-21],随着运行时间加长,隔室中的阴阳离子被迁移至相邻的隔室,结果该隔室溶液浓度会降低,则被称为淡室,相邻两边隔室会不断迁入阴阳离子,相邻两边隔室溶液浓度会升高,则被称为浓缩室^[20-21]。因此电渗析膜组器就能够持续地产生淡化溶液和浓缩溶液^[22]。

2 项目概述及工艺流程

本项目为某电镀公司废水“零排放”项目,处理能力为 10 m³/h。该项目电镀废水通过电絮凝设备进行电解絮凝去除废水中的有机物及重金属,然后利用混凝沉淀池进行絮凝沉淀,剩余密度较小的悬浮物通过气浮机进行去除,再通过多介质过滤器和超滤膜设备进行去除更细小悬浮物及胶体,最后通过反渗透膜设备进行脱盐减量化,反渗透产水制作的纯水回用于生产线,反渗透浓水通过三效蒸发结

晶设备进行处理。

废水初始电导率检测为 $3000\ \mu\text{S}/\text{cm}$, 经过两段反渗透浓缩后, 检测其电导率为 $30000\ \mu\text{S}/\text{cm}$, 回用率 80%, 另外 20% 反渗透浓缩液需要蒸发结晶处

理, 运行成本为 50 元/t (运行成本包含: 电费、蒸汽费、药品、耗材和污泥处理费等)。由于客户年处理废水量为 24000 t, 废水处理费用高达 120 万元, 造成企业负担很重。

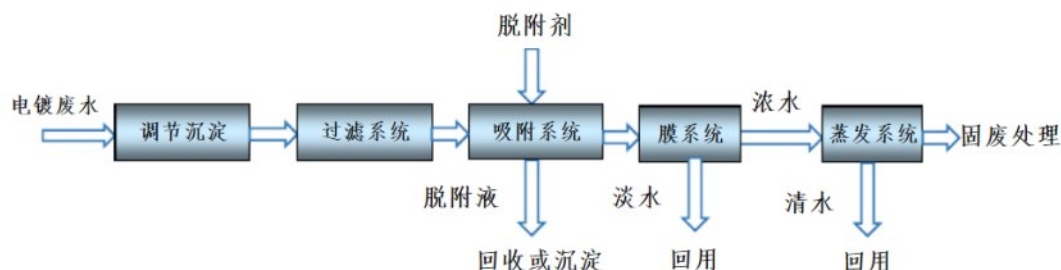


图2 废水零排放工艺流程图

Fig.2 Process flow chart of zero wastewater discharge

应客户要求升级改造, 降低废水运行成本, 经过分析蒸发费用占总运行成本费用约 50%, 因此能很大地降低运行成本空间, 我司提出使用电渗析技术对反渗透浓水高倍浓缩, 减少废水蒸发量。将电导率 $30000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的反渗透浓水继续浓缩, 使浓缩液电导率提高至 $80000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上, 为了使电渗

析产水能够通过反渗透设备继续脱盐, 因此控制电渗析产水的电导率不高于 $10000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 。设计电渗析设备回用率 80%, 较原“零排放”系统中需要蒸发的废水量减少了 80%, 成功地将运作成本降低至 30 元/t, 每年处理废水的运作成本节省了 40%。

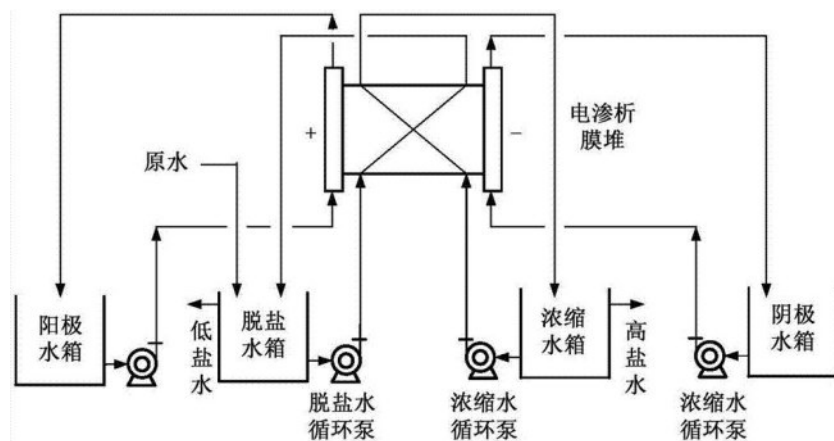


图3 电渗析设备工艺流程图

Fig.3 Process flow chart of electrodialysis equipment

电渗析系统设备是由一台电渗析器、保安过滤器、换热器、浓缩水箱、清洗水箱、泵阀仪器仪表和电气控制等设备组成。其中电渗析器中的离子交换膜使用的是日本富士均相膜。

设备具备倒极功能, 为全自动化控制, 运行维护方便简单。

3 电渗析设计参数

3.1 电渗析膜参数

隔板外框尺寸 $280\ \text{mm} \times 560\ \text{mm} \times 140\ \text{mm}$, 单片

膜尺寸: $270\ \text{mm} \times 550\ \text{mm}$, 膜总面积为 $59.4\ \text{m}^2$, 膜的有效面积为 $20\ \text{m}^2$, 单张膜面积为 $0.1\ \text{m}^2$, 电渗析膜对共计 200 对, 电渗析膜脱盐效率为 $500\ \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (以氯化钠为例, 理论值)。

3.2 电源参数

富士均相电渗析膜理论上单张每平方米膜需要电流为 $400\ \text{A}$, 即电流密度为 $400\ \text{A}/\text{m}^2$, 因此本项目单张膜面积为 $0.1\ \text{m}^2$, 因此需要电流密度为 $40\ \text{A}/\text{m}^2$ 。1 对膜对需要 $0.6\ \text{V}$ 电压值 (经验值), 电渗析膜对共计 200 对, 理论需要电压 $120\ \text{V}$, 预留约 10% 余量, 设

计电压为 130 V,电源电流-电压值为 40 A-130 V,可倒极。

4 结果分析

本项目设计电渗析膜的总面积为 59.4 m²,实际有效面积为 20 m²,根据其特性,出厂理论上可以脱盐 10 kg/h(以氯化钠为例,电渗析膜脱盐效率为 500 g/(m²·h)。本项目是硫酸钠废水,初始浓淡水电导

率均为 30000 μS/cm(质量浓度约 3%),经过电渗析脱盐,淡水电导率降低至 10000 μS/cm(质量浓度约 1%),共耗时 1.5 h,实际脱盐量为 20 kg,折合 1 h 脱盐为 13 kg,符合设计预期标准。在运行的过程中,初始电流值为 32 A,电压值为 130 V,运行 1 h 后电流值为 14 A,电压值为 70 V,均在实际标准范围内。运行流量与压力参数见表 1。

表 1 运行流量与压力参数

Tab.1 Operating flow and pressure parameters

名称	运行流量/(m ³ ·h ⁻¹)	运行压力/(kg·cm ⁻²)	最终浓缩电导率/(10 ⁴ μS·cm ⁻¹)
极水通道 1	1	0.3	2
极水通道 2	1	0.3	2
浓水通道	4	0.3	8
淡水通道	4	0.3	1

电渗析设备运行发现 5 t 废水经过浓缩可以产生淡水 4 t(电导率 10000 μS/cm),浓水 1 t(电导率 80000 μS/cm),回用率为 80%。

通过电渗析设备进行末端浓缩后,项目废水总回用率达到 96%,只有 4%的浓缩液进行蒸发,较原“零排放”系统中需要蒸发的废水量减少了 80%,项目运行成本从 50 元/t 降低至 30 元/t,效果显著。改造前后回用率及运行成本对照表见表 2。

表 2 改造前后回用率及运行成本对照

Tab.2 Comparison of reuse rate and operating cost before and after transformation

参数名称	总回用率/%		运行成本/(元·t ⁻¹)	
	原系统	改造后	原系统	改造后
项目数据	80	96	50	30

由于普通的电渗析在运行过程中可能会出现污垢、结垢和出水水质不稳定等问题,在本项目的电渗析脱盐装置中,通过采用频繁倒极设计克服了上述现象,确保了整个过程的稳定运行。

5 结论与展望

本文采用均相膜电渗析系统作为浓缩设备,将反渗透浓水进一步浓缩,均相膜为日本富士进口离子膜,将电镀废水电导率从 30000 μS/cm 浓缩至

80000 μS/cm 以上,电渗析设备回用率达到 80% 以上,并验证了电渗析膜脱盐效率为 500 g/(m²·h),实现了改造后“零排放”系统总回用率达到 96%,只有 4%的浓缩液进行蒸发,较原“零排放”系统中蒸发废水量减少了 80%,项目运行成本从 50 元/t 降低至 30 元/t,减少企业年运行成本 40%。成功实现了电渗析技术在电镀废水“零排放”系统中的应用,并且大大降低了项目运行成本,为该系统的节能降耗提供新的思路,同时为电渗析技术在电镀废水“零排放”项目规模化应用奠定基础。

参考文献

[1] 殷雪峰,刘贵昌.电渗析法再生化学镀镍老化液的实验研究[J].电镀与精饰,2006(1): 46-49.

[2] 杨露.双极膜电渗析处理高盐废液的研究[D].杭州:浙江工业大学,2019: 1-2.

[3] 赵瑞华,凌开成,张永奇.电渗析废水处理技术[J].太原理工大学学报,2000(6): 721-724.

[4] 何灿,刘兆峰,熊日华.膜浓缩技术在高盐废水零排放处理中的应用[J].现代化工,2019,39(10): 42-45.

[5] 阮晓卿,周军,陆继来,等.超滤+反渗透+电渗析浓缩处理高盐印染废水中试研究[J].污染防治技术,2018,31(3): 46-48, 52.

[6] 徐成燕.膜处理技术在高盐废水零排放上的应用及展望[J].化工管理,2019(10): 117-119.

[7] 张耀武.电驱动膜技术回用对苯二甲酸(PTA)生产废水的研究[D].青岛:中国海洋大学,2013.

- [8] 李媛, 王立国. 电渗析技术的原理及应用[J]. 水处理技术与设备, 2015(5): 16-22.
- [9] 赵则龙. 电渗析法处理高含盐有机废水[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017: 5-6.
- [10] 夏子君. 电渗析技术在零排放中的应用[J]. 膜科学与技术, 2021, 41(4): 129-137.
- [11] 潘海如, 陈广洲, 高雅, 等. 电渗析技术在高含盐废水处理中的研究进展[J]. 应用化工, 2021, 50(10): 2886-2891.
- [12] 肖亚娟, 吕锡武, 李金荣, 等. 电渗析处理印刷线路板废水的研究[J]. 工业用水与废水, 2010, 41(6): 38-40.
- [13] 颜海洋, 汪耀明, 蒋晨啸, 等. 离子膜电渗析在高盐废水"零排放"中的应用、机遇与挑战[J]. 化工进展, 2019, 38(1): 672-681.
- [14] 合肥科佳高分子材料科技有限公司. 一种通过电渗析技术从煤化工废水中分离盐的方法: CN201610316243.5[P]. 2016-08-31.
- [15] 于秀娟, 周定, 王海燕, 等. 电渗析法净化再生、化学镀镍老化液的研究[J]. 环境科学学报, 2000(S1): 120-124.
- [16] 王惠, 赵新星, 朱安民, 等. 电渗析脱盐处理离子交换再生废水的试验与研究[J]. 工业水处理, 2019, 39(7): 50-53.
- [17] 陈晓丹, 李正浩, 张淦, 等. 均相膜电渗析在电镀废水零排放中的应用[C]. //2017 中国环境科学学会科学与技
- 术年会论文集. 2017: 2962-2965.
- [18] Zhang Y, Ghyselbrecht K, Meesschaert B, et al. Electrodialysis on RO conc to improve water recovery in wastewater reclamation[J]. Journal of Membrane Science, 2011, 378(1/2): 101-110.
- [19] Zhang Y, Ghyselbrecht K, Vanherpe R, et al. RO concentrate minimization by electrodialysis: Techno-economic analysis and environmental concerns[J]. Journal of Environmental Management, 2012, 107: 28-36.
- [20] Reig, Mònica, Casas S, Aladjem C, et al. Concentration of NaCl from seawater reverse osmosis brines for the chlor-alkali industry by electrodialysis[J]. Desalination, 2014, 342: 107-117.
- [21] Sotto A, Pan J F, Bruggen B, et al. Separation of divalent ions from seawater concentrate to enhance the purity of coarse salt by electrodialysis with monovalent-selective membranes[J]. Desalination: The International Journal on the Science and Technology of Desalting and Water Purification, 2017, 411: 28-37.
- [22] Kan H S, Soklun H, Yang Z S, et al. Purification of dye wastewater using bicarbonate activated hydrogen peroxide: Reaction process and mechanisms[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 232: 115974.