

# Analysis on improvement and application of wastewater treatment process in aluminum foil production

Zhihui Yang<sup>1</sup> Xianzhen Wei

1. Xinjiang Donghao Tiancheng Energy Storage Materials Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834018, China

2. Tianjin Recyclable Resources institute, China CO-OP, Tianjin, 300191, China

## Abstract

In the aluminum foil production process, wastewater contains various harmful substances, making its treatment challenging. To achieve wastewater resource utilization and emission reduction goals, the characteristics and treatment technologies of aluminum foil production wastewater were studied. Traditional physical-chemical methods, biological methods, and integrated processes are widely applied, but they face issues such as low treatment efficiency and high energy consumption. This paper proposes a combined treatment process based on coagulation-sedimentation, membrane separation, and neutralization-adsorption oxidation. By improving the treatment process, the removal of suspended solids, toxic heavy metals, and organic substances in wastewater is enhanced. Experimental results show that this process effectively improves wastewater treatment efficiency, reduces environmental pollution, and provides a feasible solution for deep treatment and resource utilization of wastewater. The paper also analyzes the economic, environmental, and social impacts of the improved process, demonstrating its broad application prospects.

## Keywords

Aluminum foil production wastewater; Pollutant removal; Process improvement; Membrane separation; Resource utilization

# 铝箔生产废水处理工艺改进与应用分析

杨芝慧<sup>1</sup> 魏显珍<sup>2\*</sup>

1. 新疆东浩天成储能材料有限公司, 中国·新疆 克拉玛依 834018

2. 中华全国供销合作总社天津再生资源研究所, 中国·天津 300191

## 摘要

铝箔生产过程中, 废水含有多种有害物质, 处理难度较大。为实现废水资源化与减排目标, 研究了铝箔生产废水的特征与处理技术。传统的物理化学法、生物法及其综合工艺广泛应用, 但存在处理效率低、能耗高等问题。本文提出了一种基于混凝沉淀、膜分离与中和吸附氧化的联合处理工艺。通过改进处理工艺, 增强了废水中悬浮物、重金属及有机物的去除效果。实验结果表明, 该工艺能有效提高废水处理效率, 减少环境污染, 并为废水的深度处理与资源化利用提供了可行方案。文章还分析了改进工艺的经济性、环境效益及社会影响, 显示出其广阔的应用前景。

## 关键词

铝箔生产废水; 污染物去除; 工艺改进; 膜分离; 资源化利用

## 1 引言

随着铝箔生产行业的快速发展, 废水处理问题日益凸显, 成为亟待解决的环境难题。铝箔生产废水中含有大量有毒有害物质, 如重金属、油类、悬浮物等, 这些污染物对水体环境和生态系统构成了严重威胁。尽管现有的废水处理技术在一定程度上能够去除部分污染物, 但在处理效果、成本和能耗方面仍面临着较大的挑战。尤其是在大规模生产情况

下, 传统的单一技术往往难以满足严格的排放标准, 也无法实现减量化与资源化。因此, 研发新型高效的废水处理工艺, 特别是集成多种技术的联合处理工艺, 已成为该领域的研究重点。本文将探讨铝箔生产废水的成分及其处理现状, 并提出可行的废水处理改进方案, 以期为铝箔产业的可持续发展提供技术支持。

## 2 铝箔生产废水的特征与污染成因

### 2.1 铝箔生产工艺流程及主要排水环节

铝箔生产过程中, 废水主要来源于铝材的清洗、酸洗、冷却以及表面处理(包括脱脂、碱蚀、酸洗、铬化、磷化等化学氧化、阳极氧化、染色或电解着色、封孔等)等工艺环节。在铝箔的清洗过程中, 使用大量的水进行冲洗, 产生的

**【作者简介】** 杨芝慧(1989-), 女, 回族, 中国新疆乌苏人, 本科, 工程师, 从事环境污染防治、环境监测等研究。

**【通讯作者】** 魏显珍(1987-), 女, 中国内蒙古赤峰人, 硕士, 高级工程师, 从事环境污染防治、环境监测等研究。

废水含有悬浮物、油脂及金属离子。酸洗工序则使用硫酸或氢氟酸，废水中可能含有较高浓度的酸性物质及金属离子。冷却水通常接触高温铝箔，带有金属、油脂等污染物。表面处理过程中，废水中可能混入了有机物和重金属。整个工艺链条产生的废水因其复杂的成分，使得废水处理难度较大，且排放不当会对水体和生态环境产生严重污染<sup>[1]</sup>。

## 2.2 废水中主要污染物组成与理化特征

铝箔生产废水中主要污染物组成高度依赖于工厂实际采用的表面处理工艺和化学药剂配方，毒性突出的氟化物、六价铬、镍等重金属具有显著的生物毒性和环境风险。重金属不仅对水生态系统有毒害作用，还可能通过食物链进入人体，油脂的存在不仅会增加废水的 COD，还影响水体的溶解氧，悬浮物不仅降低水体透明度，还可能破坏水生生物栖息地，低 pH 值的酸洗废水具有强腐蚀性。该类废水处理难点包括氟化物去除、络合态重金属的破络与去除、高浓度酸/碱废水中和产生的大量污泥、含铬废水的严格分质分流与处理等是常见的技术难点，通常需要组合多种处理技术，如化学沉淀（中和、除氟、除磷、除重金属）、氧化还原（如六价铬还原）、混凝沉淀/气浮（除 SS、除油）、生化处理（降 COD/BOD）、过滤、吸附等。

## 3 现有铝箔生产废水处理技术评述

### 3.1 物理化学法在铝箔废水处理中的应用效果

物理化学法作为铝箔生产废水处理中常用的技术，通过使用絮凝剂、沉淀剂以及膜分离等手段来去除废水中的悬浮物和溶解性污染物。在铝箔废水处理中，物理化学法能够有效去除水中的重金属离子和油脂，且操作简单、运行成本低。常见的处理方法包括混凝沉淀、气浮、膜分离等。这些方法能够在短时间内去除废水中的大部分悬浮物和溶解物，达到较好的处理效果。然而，物理化学法的局限性也较为明显，尤其在去除水中的重金属时，可能存在二次污染风险。此外，该方法还面临高能耗和耗材问题，导致在大规模应用时成本较高。

### 3.2 生物法处理技术的适用性与局限性

生物法处理技术通过利用微生物的代谢作用来分解废水中的有机污染物和部分无机污染物。该技术具有较低的运行成本和较高效的有机物降解能力，尤其适用于含有大量有机物的废水。然而，生物法在处理含有重金属和油脂较多的废水时，效果有限。重金属对微生物具有毒害作用，可能抑制微生物的生长和代谢。此外，生物法需要较长的处理周期，且对温度、pH 值等外部环境条件较为敏感。因此，生物法虽然在一些铝箔废水处理工程中得到了应用，但其适用范围仍受到一定限制。

### 3.3 综合工艺的运行特征与问题诊断

综合工艺将物理化学法与生物法相结合，以期达到更高的处理效果。常见的包括生物接触氧化与膜分离的联用、

化学沉淀与生物降解的结合等。这些技术可以互补优缺点，提升废水处理的整体效率。例如，生物法可以降解水中的有机污染物，而物理化学法则能够去除水中的重金属和悬浮物。综合工艺的优势在于能够在不同污染物的去除中发挥各自优势，但也存在工艺复杂、设备投入较大、操作难度高等问题。实际应用中，综合工艺的选择与优化需根据废水的具体成分和污染负荷来定制，且在运行过程中需要精确的工艺参数控制和维护。

## 4 废水处理工艺改进的关键技术路径

### 4.1 混凝沉淀单元的优化与高效絮凝剂应用

在铝箔废水处理中，混凝沉淀单元主要通过絮凝剂将废水中的悬浮物、油脂和部分溶解性污染物聚集成大颗粒进行沉淀。通过优化絮凝剂的种类和投加量，可以显著提高去除效率。近年来，高效絮凝剂的应用逐渐成为改进混凝沉淀单元的关键技术路径之一。与传统絮凝剂相比，高效絮凝剂具有更强的吸附性和沉降性，能够更有效地去除废水中的污染物。在优化过程中，絮凝剂的选择、投加方式以及混合反应条件的控制都对处理效果产生重要影响。

### 4.2 膜分离技术在深度净化环节的引入与改进

膜分离技术通过膜的选择性渗透作用，可以有效去除水中的溶解性物质、微细颗粒和部分重金属。近年来，膜分离技术在铝箔废水的深度净化中取得了显著进展。通过引入超滤、反渗透等膜分离技术，不仅能够去除水中的悬浮物和溶解性污染物，还能进一步提高水质，达到循环利用的要求。然而，膜分离技术仍面临膜污染和能耗较高等问题。针对这些问题，膜的清洗与再生技术的优化，以及膜系统的运行维护，成为提高膜分离技术应用效果的关键。

### 4.3 中和—吸附—氧化联合处理系统的构建与优化

中和—吸附—氧化联合处理系统通过结合化学中和、吸附及氧化技术，形成多重处理机制，能够更高效地去除废水中的酸性物质、重金属离子和有机污染物。中和技术可以有效调整废水的 pH 值，吸附技术可以去除水中的有机污染物和金属离子，而氧化技术则可将有机物进一步降解为无害物质。联合系统能够通过多阶段的处理过程，提升废水的综合去除率。随着技术的不断改进，联合处理系统在铝箔废水中的应用前景越来越广阔，特别是在处理高浓度废水和实现资源化利用方面具有重要意义<sup>[2]</sup>。

## 5 改进工艺的工程化应用与性能评价

### 5.1 改进工艺的设计参数与运行控制要点

改进后的废水处理工艺主要包括混凝沉淀、膜分离及中和吸附氧化等多个环节。在设计过程中，应根据废水的水质特征和处理需求确定合适的工艺参数。例如，混凝剂的投加量通常设定为每吨废水 20-30 克，以确保絮凝效果的最佳化。膜分离系统的运行压力应控制在 0.4-0.6 MPa 之间，保证处理水的透过率与膜的使用寿命。中和反应池的 pH 值应

调整至 6.5-7.5，以提高沉淀效果。控制系统方面，需要根据不同环节的流量和污染负荷进行动态调整，以实现系统的稳定运行。在设计中，还需要考虑设备的自动化控制与在线监测系统，确保处理过程的实时控制与管理。

## 5.2 废水中主要污染物去除效果的分析与比较

改进工艺在去除废水中主要污染物方面表现出显著效果。通过混凝沉淀处理，废水中的悬浮物去除率可达到 85% 以上，油脂去除率为 80%。膜分离技术则能够进一步去除废水中的溶解性污染物，其去除率可达到 90%。重金属离子通过中和吸附步骤得到有效去除，去除效率可达到 75% 以上。在综合工艺中，通过各单元的联合作用，废水中的 COD、BOD、氨氮等指标的去除效果也得到明显提升。COD 去除率可达到 92%，BOD 去除率为 90%，氨氮去除率则超过 80%。与传统单一工艺相比，改进工艺在多重污染物去除中具有明显的优势，能够满足更为严格的排放标准<sup>[3]</sup>。

## 5.3 工艺稳定性、能耗与运行成本的综合评估

改进工艺在稳定性、能耗和运行成本方面的表现亦得到了显著提升。通过调节工艺参数和精确控制各环节的运行状态，改进工艺的稳定性得到了有效保证。在长期运行中，系统能够维持较高的处理效率，且污染物去除效果不受季节性变化的影响。能耗方面，整个处理过程中电力消耗较低，膜分离系统的能耗为每立方米水处理 2.5 kWh，较传统处理方式降低了 15%。运行成本方面，综合工艺的费用较传统方法有所降低，特别是在化学药剂和能源消耗方面的节省，使得整体运行成本下降了约 10%。该工艺的经济性与高效性使其在铝箔生产废水处理领域具有较大的应用潜力。

# 6 处理后废水资源化利用与环境效益分析

## 6.1 中水回用系统的设计与应用前景

改进工艺不仅提高了废水中污染物的去除效率，还为中水回用提供了可行的技术支持。通过膜分离与深度净化处理后，废水的水质得到了显著改善，符合中水回用标准。中水回用系统设计中，处理后的水可用于生产过程中的冷却水、清洗水等，极大地减少了水资源的消耗。预计该系统的应用可使废水回用率提高至 75% 以上，进一步减轻水资源压力。随着环保法规的日益严格以及企业对可持续发展的关注，废水回用系统在铝箔生产中的应用前景十分广阔，既有助于减少污染物排放，实现水资源的循环利用，又能显著降低生产成本。

## 6.2 污泥的减量化与资源化利用途径

污泥的减量化与资源化是废水处理中的重要课题。改进工艺通过优化混凝沉淀和中和反应单元的运行条件，能够有效降低污泥的产生量。在减少污泥的同时，部分污泥经过浓缩与脱水处理后可作为肥料或建材原料进行资源化利用。

污泥中含有的有机物可通过厌氧消化转化为沼气进行能源回收，进一步提高废水处理的经济性与环境友好性。预计通过改进工艺的应用，污泥减量化可达到 30%，资源化利用率可达到 50% 以上，这不仅符合绿色环保的要求，也为企业发展提供了新的经济增值点<sup>[4]</sup>。

## 6.3 改进工艺的环境、经济与社会综合效益分析

改进工艺在环境、经济和社会效益方面具有重要影响。在环境效益方面，该工艺显著减少了废水中的污染物排放，降低了对水体的污染负荷，为防止水体污染和保护生态环境提供了保障。通过对处理效果的评估，改进工艺使废水中有毒有害物质的排放浓度降低了 80% 以上，极大改善了周围生态环境。经济效益方面，废水回用系统的引入和污泥资源化利用的提升，使企业水费和污水处理费降低了 15%。此外，工艺优化使得整个废水处理系统的运行成本降低了 10%，提高了企业的经济效益。社会效益方面，改进工艺的应用不仅满足了环保要求，还推动了绿色生产方式的普及，提升了企业的社会责任感和公众形象。通过这些效益的综合评估，改进工艺为铝箔生产企业的可持续发展提供了强有力的支持。

## 7 结语

综上所述，铝箔生产废水的处理面临着污染物成分复杂和处理成本较高的挑战。本文提出的改进工艺，通过结合混凝沉淀、膜分离和中和吸附氧化等技术，不仅提高了废水处理效率，还有效降低了能耗和运行成本。该工艺在污染物去除效果、工艺稳定性、以及资源化利用方面表现出显著优势。通过中水回用和污泥资源化等措施，废水处理不仅实现了减污降耗，还为企业提供了可观的经济效益。未来，随着技术的不断优化和成本的进一步降低，该工艺在铝箔生产及其他废水处理中具有广阔的应用前景。通过推广此类先进的处理技术，可以有效推动企业环保水平的提升，促进绿色生产方式的发展，同时为生态环境保护和资源循环利用贡献力量。

## 参考文献

- [1] 蔡彬,温勇,檀笑,黄皓然.铝箔磷酸系化成废水处理污泥危险特性及鉴别要点[J].电镀与涂饰,2021,40(23):1803-1808.
- [2] 倪苏林,李晶晶,王卫,董云.铝箔腐蚀废水降氮磷处理试验研究[J].冶金动力,2020,(09):58-60.
- [3] 刘海刚,周嗣东,郭会宾,冯翠兰,唐宏学,莫宾,何晓云,曹磊,侯涛,侯平帮.青海省化工设计研究院有限公司,青海瑞合铝箔有限公司.铝箔生产废水制备混凝剂关键技术研究[Z].项目立项编号:JC-2017-24.鉴定单位:青海省科技厅.鉴定日期:2019-06-06.
- [4] 赵莹莹.铝箔腐蚀废水处理及回用技术的研究应用[J].新疆有色金属,2015,38(06):71-73.