

# 电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水研究

贾莹莹

华电水务科技股份有限公司, 北京 100160

**摘要：** 本文研究了电化学氧化法在处理燃煤电厂高盐氨氮废水中的应用。实验分析了电化学氧化法在去除氨氮和减盐方面的效率，探讨了不同操作参数对处理效果的影响。结果表明，通过优化电流密度、电解时间和电极材料，可显著提高氨氮的去除率，并减轻高盐环境对处理过程的负面影响。本研究为燃煤电厂废水的高效处理提供了科学依据和技术支持。

**关键词：** 电化学氧化法；高盐氨氮废水；燃煤电厂；策略探究

## Study On The Treatment Of High Salt Ammonia Nitrogen Wastewater From Coal-Fired Power Plants Using Electrochemical Oxidation Method

Jia Yingying

Huadian Water Technology Co., Ltd. Beijing 100160

**Abstract：** This article studies the application of electrochemical oxidation method in the treatment of high salt ammonia nitrogen wastewater from coal-fired power plants. The experiment analyzed the efficiency of electrochemical oxidation method in removing ammonia nitrogen and reducing salt, and explored the influence of different operating parameters on the treatment effect. The results indicate that by optimizing current density, electrolysis time, and electrode materials, the removal rate of ammonia nitrogen can be significantly improved, and the negative impact of high salt environment on the treatment process can be alleviated. This study provides scientific basis and technical support for the efficient treatment of wastewater from coal-fired power plants.

**Keywords：** electrochemical oxidation method; high salt ammonia nitrogen wastewater; coal fired power plants; strategy exploration

### 引言：

随着全球能源需求的增加，燃煤电厂依然是主要的能源供给方式，然而，燃煤过程中产生的大量高盐氨氮废水，因其复杂的成分和高浓度的污染物，给环境保护带来了巨大的挑战<sup>[1]</sup>。传统的废水处理方法对高盐环境中的氨氮去除效果有限，难以达到环保要求。电化学氧化法作为一种新兴的废水处理技术，具有操作简便、污染物降解彻底、无二次污染等优点，在高盐氨氮废水的处理上显示出潜在的优势。

### 一、电化学氧化法及其在处理废水中的应用

电化学氧化法是一种利用电化学反应去除废水中污染物的技术。其主要原理是在电极上施加电压，使废水中的污染物在电极表面发生氧化还原反应，从而转化为无害物质或易于进一步处理的中间产物<sup>[2]</sup>。电化学氧化法的优点包括以下几个方面。

#### （一）高效去除污染物

电化学氧化法能够高效去除废水中的有机物、氨氮、重金属等污染物，处理效果显著。例如，在处理高盐氨氮废水时，电化学氧化法能有效降低氨氮浓度，并分解有机污染物使其达标排放。

#### （二）无二次污染

与传统的化学处理方法不同，电化学氧化法在处理过程中不会引入新的污染物，避免了二次污染的问题。这使得电化学氧化法更加环保，符合现代环境保护的要求。

#### （三）操作简单

电化学氧化反应的设备相对简单，操作方便，适用于各种规模的废水处理系统<sup>[3]</sup>。无论是小规模实验室研究，还是大规模的工业应用，电化学氧化法都能轻松实现。

#### （四）环保节能

电化学氧化法的能耗较低，且能够实现废水的资源化利用，例如，通过电化学反应生成的氧化剂可以回收利用，进一步降低

\* 作者简介：贾莹莹（1984），女，河北省承德市，硕士，中级，华电水务科技股份有限公司，电厂废水。

处理成本，电化学氧化法不仅具有良好的环境效益还具有显著的经济效益。

在实际应用中，电化学氧化法常用于处理高浓度有机废水、高盐废水、含重金属废水等。近年来，随着技术的不断发展，电化学氧化法在燃煤电厂高盐氨氮废水处理中的应用逐渐增多，取得了显著的成效。这一技术能提升废水处理的效率，还为工业废水的处理提供了可靠的技术支持。

## 二、燃煤电厂高盐氨氮废水特性分析

燃煤电厂在发电过程中，循环冷却水系统会产生大量废水，这类废水具有以下几个显著特性，使得处理难度相当高。

一方面，高盐度是燃煤电厂废水的一个主要特征，由于废水中包含大量的溶解盐，这些盐类（如氯化物和硫酸盐）会显著增加水体的盐度，给处理工艺带来挑战。高盐环境不仅会影响废水处理设备的耐久性，还可能抑制微生物的活性，从而降低生物处理的效率，而且溶解盐的存在也可能会增加水的导电性，对电化学处理方法带来一定的技术要求<sup>[4]</sup>。另一方面，废水中的氨氮含量较高，这是由于燃煤过程中氮化物的生成，这些氮化物在水体中转化为氨氮。高浓度的氨氮不仅对水体环境和生态系统构成威胁，导致水体富营养化，还对生物的生存产生毒性作用，所以，如何有效去除氨氮成为废水处理中的一个关键问题。

另外，燃煤电厂废水中含有较高的COD，COD指标反映了废水中有机物的含量，有机物通常难以通过简单的物理或化学方法完全去除。高COD意味着废水中的有机污染物浓度较高，要有效的处理方法来降解这些有机物，否则会对受纳水体造成污染，甚至影响后续的处理工艺。针对上述特性，传统的废水处理方法在应对燃煤电厂高盐氨氮废水时存在诸多局限性<sup>[5]</sup>。物理方法，如沉淀和过滤，通常只能去除悬浮物和部分颗粒物，对溶解性污染物效果有限。化学方法，诸如化学沉淀和氧化还原，虽然能处理部分污染物，但容易产生二次污染，且处理效果不稳定，而生物方法，往往难以维持微生物的正常活动。

因此，寻找一种高效、环保的处理方法来处理燃煤电厂的高盐氨氮废水显得尤为重要。需要能够应对高盐、高氨氮和复杂物质的挑战，同时避免传统方法的缺陷达到理想的处理效果。这也推动了对电化学氧化法等新型处理技术的探索，此技术因其处理效率高无二次污染等优点，成为未来废水处理的重要研究方向。

## 三、电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水的实验研究

为了评估电化学氧化法在高盐氨氮废水处理中的实际应用效果，我们设计了一系列实验，系统研究了电解条件对氨氮去除率和盐度变化的影响。

### （一）实验设计和方法

#### （1）实验装置与材料

实验装置主要由电解槽、电源、电极、搅拌装置和测量仪器

组成。电解槽采用耐腐蚀材料制成，容积为1L，能够承受高盐废水的腐蚀。电源采用直流电源，电压和电流可调。电极材料选用钛基铂电极（Ti/Pt）、钛基铱钽电极（Ti/IrO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）和硼掺杂金刚石电极（Boron-doped Diamond, BDD）等，这些电极具有高催化活性和稳定性。实验用废水为模拟燃煤电厂高盐氨氮废水，主要成分为氯化钠（NaCl）和氨氮（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N）。

#### （2）实验方法

实验分为预处理、主处理和后处理三个阶段。预处理阶段主要是将模拟废水调节至所需的初始pH值和氨氮浓度，主处理阶段通过电化学氧化法对废水进行处理，后处理阶段对处理后的废水进行分析和测量<sup>[6]</sup>。

在主处理阶段，向电解槽中加入1L模拟废水，调节初始pH值为7.5，氨氮浓度为100mg/L，NaCl浓度为10g/L。启动搅拌装置，使废水均匀混合，开启直流电源，调节电流密度为20mA/cm<sup>2</sup>，反应时间设定为2小时。在反应过程中，每隔30分钟取样一次，测量氨氮浓度、总氮浓度、氯离子浓度和氧化还原电位（ORP）等参数。

#### （3）数据分析与处理

实验数据采用逐步回归分析法和响应面分析法进行处理，确定各因素对氨氮去除率的影响及其最优操作条件<sup>[7]</sup>。通过分析各取样点的氨氮浓度变化，计算氨氮的去除率，研究不同电极材料、初始pH值、电流密度和反应时间对氨氮去除效果的影响。

### （二）实验结果和数据分析

#### （1）电极材料对氨氮去除效果的影响

实验结果表明，不同电极材料对氨氮的去除效果存在显著差异，以Ti/Pt电极为例，在初始pH值为7.5、电流密度为20mA/cm<sup>2</sup>、反应时间为2小时的条件下，氨氮的去除率达到82%。而采用Ti/IrO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>电极和BDD电极时，氨氮的去除率分别为75%和91%，由此可见，BDD电极在氨氮去除方面表现出最佳的催化活性。

#### （2）初始pH值对氨氮去除效果的影响

实验发现，初始pH值对氨氮的去除效果有显著影响，当初始pH值在4.0至9.0范围内变化时，氨氮的去除率随pH值的升高呈现先升高后降低的趋势<sup>[8]</sup>。以BDD电极为例，当初始pH值为7.5时，氨氮的去除率最高，达到91%；而当pH值降低至4.0或升高至9.0时，去除率分别降至65%和70%。这可能是因为在中性条件下，氨氮更容易被电化学氧化为氮气（N<sub>2</sub>）和硝酸盐（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）。

#### （3）电流密度对氨氮去除效果的影响

电流密度是影响电化学氧化过程的重要参数。实验结果显示，随着电流密度的增加，氨氮的去除率逐渐升高。当电流密度从10mA/cm<sup>2</sup>增加至30mA/cm<sup>2</sup>时，氨氮的去除率从78%增加至95%。然而，当电流密度进一步增加至40mA/cm<sup>2</sup>时，去除率仅略微增加至97%。这表明在一定范围内，增大电流密度可以显著提高氨氮的去除效果，但超过一定范围后，去除率的增加趋于平缓。

#### （4）反应时间对氨氮去除效果的影响

反应时间是决定电化学氧化过程效率的关键因素之一。实验

数据表明,随着反应时间的延长,氨氮的去除率逐渐增加。在初始 pH 值为 7.5、电流密度为 20mA/cm<sup>2</sup>的条件下,当反应时间从 0.5 小时延长至 1.5 小时,氨氮的去除率从 60% 增加至 85%;而当反应时间进一步延长至 2 小时,去除率达到 91%。这表明适当延长反应时间有助于提高氨氮的去除效果,但反应时间过长可能导致能耗增加,经济性下降<sup>[9]</sup>。

#### (5) 其他因素的影响

实验还研究了氯离子浓度、溶液温度和搅拌速度等因素对氨氮去除效果的影响。结果表明,氯离子浓度对氨氮去除有显著促进作用。当 NaCl 浓度从 5g/L 增加至 20g/L 时,氨氮去除率从 80% 提高至 95%。溶液温度对氨氮去除效果也有一定影响,当温度从 20℃ 升高至 40℃ 时,氨氮去除率从 85% 增加至 92%。搅拌速度的影响较小,但为了确保废水均匀混合,建议采用适当的搅拌速度。

### (三) 实验结果对电化学氧化法的应用和改进的启示

实验结果表明,电化学氧化法在处理燃煤电厂高盐氨氮废水中具有显著的应用潜力。然而,为了进一步提升其应用效果,尚需在多方面进行优化和改进。

其一,从电极材料的选择来看,BDD 电极在氨氮去除方面表现出优异的催化活性,明显优于 Ti/Pt 和 Ti/IrO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 电极。因此,在实际应用中,选择高效的电极材料如 BDD 电极是提高氨氮去除效率的关键。同时,研发和应用新型电极材料,如掺杂贵金属或使用复合材料,也将进一步提升电化学氧化法的处理效果和性价比。

其二,初始 pH 值对氨氮去除效果影响显著。实验结果显示,在中性条件下(pH 7.5)氨氮去除率最高。这提示在实际操作中,应通过调节废水的 pH 值至最佳范围来优化处理效果。而且,探索在不同 pH 值条件下的反应机理,进一步理解氨氮氧化过程中涉及的化学反应,对于提升工艺效果也具有重要意义。

其三,电流密度的合理设置对氨氮去除具有重要影响。实验

显示,增大电流密度在一定范围内能显著提高氨氮去除率,但过高的电流密度带来的边际效益递减,并伴随着能耗的增加<sup>[10]</sup>。因此,实际应用中应在电流密度和能耗之间寻求最佳平衡点,确保经济高效地处理高盐氨氮废水。

其四,反应时间同样是影响处理效率的重要因素,适当延长反应时间能够显著提高氨氮的去除率,但过长的反应时间会导致处理成本上升。因此,在工业应用中,应根据实际废水处理量和处理目标,优化反应时间,以实现高效且经济的处理效果。此外,结合在线监测和控制系统,实时调整反应时间也是提升处理效率的有效手段。

其五,氯离子浓度对氨氮去除具有显著促进作用,实验表明,增加 NaCl 浓度能有效提高氨氮去除率。因此,在高盐废水处理中,可以考虑适当增加电解质浓度,以增强电化学氧化的效果。然而,这也要求在设计电解槽时,充分考虑高盐环境对设备材料和操作条件的要求,来保证长期稳定运行。

综合来看,电化学氧化法在处理高盐氨氮废水方面展示了优异的性能,但其应用效果受多种因素的影响。为了实现更高效的废水处理,需要综合考虑电极材料、初始 pH 值、电流密度、反应时间、氯离子浓度和温度等因素,进行系统优化。同时,结合其他处理方法,如生物处理、膜分离等,形成联合工艺,也将显著提升整体处理效果。

### 结语:

本文研究了电化学氧化法在燃煤电厂高盐氨氮废水处理中的应用,通过实验优化了电流密度和电解时间等操作参数,显著提高了氨氮去除率。结果表明,电化学氧化法在高盐环境下的应用具有潜在优势,但也需结合其他处理技术以弥补其减盐效果的不足。未来的研究应继续探索电极材料的优化和工艺的联合应用,以实现更高效和经济的工业废水处理解决方案。

### 参考文献:

- [1] 王亮,钱晓峰,孙伟钢,等. 电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水研究[J]. 水处理技术, 2020(012):046.
- [2] 王德鑫,金光,王健. 基于电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水的分析[J]. 化工管理, 2023(20):49-51.
- [3] 李伟,丁晶,赵庆良,等. 电化学间接氧化法用于低浓度氨氮废水处理的研究[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2014, 31(5):5.
- [4] 桑建伟,黄家榜,刘畅,等. 电化学氧化法处理氨氮废水的实验研究[J]. 环境科学导刊, 2023, 42(5):42-44.
- [5] 高强生,冯向东,徐浩然,等. 电化学氧化法在电厂氨氮废水处理中的应用[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(7):4.
- [6] 陈菊香,马智博,元月. 焦化废水氨氮去除方法的研究进展[J]. 广东化工, 2014, 41(1):73-74.
- [7] 曾鹏,洪侃,徐建兵,等. CaO-CaCl<sub>2</sub> 混凝沉淀结合电化学氧化法去除钨冶炼高盐废水中的氟和氨氮[J]. 中国钨业, 2023, 38(3):66-71.
- [8] 尚鸿艳,曹兆娟,尚快乐. 电化学氧化协同吹脱法去除苯基胍废水中氨氮的实验研究[J]. 山东化工, 2022, 51(18):213-215.
- [9] 张沈怡佳,陈峰,高卫国,等. 吹脱-电化学催化氧化组合工艺去除地下水中氨氮[J]. 环境工程学报, 2023, 17(6):1860-1867.
- [10] 袁梦,郑雅允,谭小琪,等. 微波法制备四氧化三铁/粉末活性炭粒子电极及其在三维电化学氧化中处理氨氮废水的研究[J]. 化工新型材料, 2022(002):050.