

# 电化学法处理生活污水研究进展

郭振强

安徽电力股份有限公司淮南田家庵发电分公司 安徽 淮南 232007

**摘要:** 生活污水的有效处理是环境保护和可持续发展的关键课题。本文围绕电化学法处理生活污水展开研究进展探讨。介绍了电化学法处理生活污水的理论基础,包括原理、电极材料与反应机制。详细阐述了电化学氧化、还原、絮凝、浮选、消毒等主要处理方法。分析了电极材料特性、电流密度、溶液 pH 值和污水初始浓度及成分等影响处理效果的因素。重点突出电化学法处理火电企业生活污水的优势,如高效去除氨氮、有效降低 COD 和 BOD、快速去除悬浮物,为该技术在生活污水处理领域的应用与发展提供参考依据。

**关键词:** 电化学法; 处理生活; 污水研究; 进展

引言: 随着城市化进程加快,生活污水排放量日益增加,其有效处理成为亟待解决的问题。传统处理方法存在一定局限性,电化学法作为新兴技术展现出独特优势。电化学法处理生活污水涉及复杂的原理和多种反应机制,包括电极材料的选择和相应反应过程。不同的电化学处理方法,如氧化、还原、絮凝、浮选和消毒等,都在污水治理中发挥重要作用,了解影响处理效果的因素对于优化处理过程至关重要,尤其是针对火电企业生活污水,电化学法的优势值得深入研究与应用。

## 1 电化学法处理生活污水的理论基础

### 1.1 电化学法原理

电化学法处理生活污水主要基于电极表面发生的氧化还原反应。在阳极,通过施加电压,产生具有强氧化性的物质,如羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )、臭氧( $\text{O}_3$ )等。对于污水中的有机物,这些强氧化性物质可攻击其化学键,使其逐步分解为小分子有机物,最终矿化为二氧化碳和水。例如,芳香族化合物的苯环结构可被破坏。在处理氨氮方面,阳极氧化作用可将氨氮转化为氮气。一方面,氨氮可在阳极表面直接失去电子被氧化;另一方面,通过产生的氧化性物质间接氧化氨氮。对于污水中的悬浮物,电化学过程中电极溶解产生的金属离子可水解形成絮凝剂,通过吸附、网捕等作用使悬浮物聚沉,阴极发生还原反应,可回收一些金属离子等,实现资源的部分回收和污水的有效净化。

### 1.2 电极材料与反应机制

电极材料与反应机制在电化学法处理生活污水过程中紧密相关,不同类型的电极材料有着各自的特性,如石墨电极具备良好的导电性和相对较高的化学稳定性且成本低廉,适合多种电化学场景;贵金属电极虽催化活性卓越但因成本高昂限制了大规模应用,不过其在电子

转移过程中能有效降低过电位,加速有机物氧化反应;金属氧化物电极有着出色的耐腐蚀性和独特的电化学活性,某些金属氧化物电极表面能够产生大量的羟基自由基,从而极大地增强对污水中难降解有机物和氨氮的去除效率,而且电极材料的合理选择对降低反应过电位、减少能耗有着至关重要的作用,进而深刻影响整个污水处理的效果和经济性<sup>[1]</sup>。

## 2 电化学处理生活污水的主要方法

### 2.1 电化学氧化法

在该方法中,电极表面发生氧化反应,通过施加电流,使污水中的污染物在阳极表面被氧化。电极反应产生的强氧化性物质,如羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )、过氧自由基( $\cdot\text{O}_2^-$ )等,能与污水中的有机物、氨氮等污染物发生剧烈反应。对于有机物,这些自由基可攻击其化学键,使其逐步分解为小分子直至矿化为二氧化碳和水,有效降低COD。在处理氨氮时,氨可被氧化为氮气等无害气体,该方法对污水中一些难以生物降解的有机污染物也有很好的处理效果,能显著提高污水的可生化性。而且电化学氧化法反应速度较快,处理过程受污水中杂质干扰相对较小,在处理复杂成分的生活污水方面具有独特优势。

### 2.2 电化学还原法

在这一过程中,阴极是核心,可为污水里的部分污染物提供电子。生活污水中存在一些高价态且有污染性的物质,它们在阴极获得电子后,化合价降低。比如部分含氯有机污染物,在阴极发生脱氯反应,毒性因此大大减弱。还有些氧化性较强的物质,经还原反应后能转化成更稳定、危害更小的形式。这种方法对于处理含有特定氧化态污染物的生活污水效果突出。和其他处理方式相比,它能针对性地处理那些可通过还原有效去除或转化的污染物。而且此方法无需引入大量化学药剂,就

能改变污水性质,为后续处理或污水达标排放奠定良好基础,有助于提升污水处理的整体效能<sup>[1]</sup>。

### 2.3 电化学絮凝法

在电流作用下,阳极材料溶解产生金属离子,以铁电极为例,阳极产生的 $\text{Fe}^{2+}$ 在水中进一步氧化为 $\text{Fe}^{3+}$ ,它们水解形成氢氧化物胶体。这种胶体具有强大的吸附性能,可吸附污水中的悬浮颗粒,让分散的小颗粒聚集成大絮体,实现快速沉降。而且,它对污水中的胶体杂质和溶解性有机物也有出色的吸附效果。在处理生活污水时,尤其是那些悬浮物多、含有胶体和溶解性有机物的污水,该方法优势明显。经过电化学絮凝处理,污水的浊度显著降低,污染物大量减少。这不仅使污水得到初步净化,还极大地减轻了后续处理环节的压力,为后续的生物处理或其他深度处理提供了良好条件,提高了整个污水处理流程的效率。

### 2.4 电浮选法

在电解过程中,电极促使水电解产生大量的氢气和氧气微气泡,这些微气泡具有很强的吸附性。在处理生活污水时,对于其中含有的悬浮颗粒、油滴等污染物,微气泡会附着在其表面。比如,生活污水中的油脂类物质原本与水混合,在微气泡附着后,浮力增大,迅速上浮至水面形成浮渣层,可方便地被去除。对于一些细小的悬浮固体颗粒,尤其是密度与水相近难以自然沉降的,也能通过微气泡的附着实现上浮分离。在一些小区的生活污水处理站中,电浮选法作为预处理环节,能有效去除污水中大部分的油脂和悬浮杂质,降低污水的浊度和杂质含量,为后续的生物处理或深度处理创造良好条件,而且该方法操作相对简单,无需添加大量化学药剂。

### 2.5 电化学消毒法

在电化学过程中,电极反应会产生具有消毒能力的物质。例如,阳极反应能产生臭氧、次氯酸等强氧化性物质。在处理生活污水时,这些物质可以破坏污水中细菌、病毒等病原体的细胞结构和代谢功能,从而实现消毒目的。对于医院、疗养院等特殊场所排放的生活污水,其中可能含有多种致病微生物,电化学消毒法能有效杀灭这些病菌,防止疾病传播。在一些中水回用系统中,经过电化学消毒处理后的生活污水,其微生物指标能达到回用标准,保障了回用水的卫生安全。而且,这种消毒方法不会像化学消毒法那样引入大量的化学残留,减少了二次污染的可能性,同时消毒效率高、作用速度快,可在短时间内完成对污水的消毒处理。

## 3 影响电化学处理效果的因素

### 3.1 电极材料特性

不同的电极材料在导电性、催化活性等方面存在明显差异,这些差异直接决定了电化学处理的效率和效果。其中,部分电极材料因具有高催化活性而脱颖而出,它们就像高效的催化剂一样,能够为氧化还原反应创造更有利的条件,使得反应能够更快速、更顺畅地进行,进而有效地加快污染物的分解速度,就像为处理污水的进程按下了“加速键”。以碳基电极材料为例,它的良好导电性如同为电子搭建了便捷的通道,让电子可以在处理过程中迅速转移,而其化学稳定性则确保了这种电子转移的高效性能够持续保持。二者相辅相成,显著提高了处理过程中的电子转移效率,使得对生活污水中有机物、氨氮等污染物的处理效果得到极大增强。

### 3.2 电流密度

电流密度是关键因素之一。合适的电流密度能保证有效的电化学处理。电流密度过低时,产生的具有活性的物质(如自由基等)数量不足,无法充分氧化或还原污染物,导致处理效率低下。而电流密度过高可能会引发副反应,比如产生过多的气体,消耗过多的能量,还可能使电极表面的反应过于剧烈而不利于污染物的持续稳定去除,甚至可能损坏电极。

### 3.3 溶液pH值

在电化学处理过程中,pH值的改变就像一把神奇的“钥匙”,能够开启不同的反应“大门”。在不同的pH值环境下,电极反应的产物和反应速率会经历天翻地覆的变化。就氧化反应而言,酸性条件往往如同“催化剂”一般,更有利于强氧化性物质的产生。比如,在酸性环境中,电极反应可能更容易生成羟基自由基等强氧化剂,它们就像勇猛的“战士”,对有机物展开猛烈攻击,有力地促进有机物的降解。而对于还原反应,碱性条件则可能成为提高反应选择性和效率的“利器”。它能够引导反应朝着更有利的方向进行,精准地对目标污染物进行还原。与此同时,pH值还像一位“魔法师”,影响着污染物的存在形态。以氨氮为例,在不同的pH值下,它会以不同的形式存在,或是铵根离子,或是游离氨。这种形态上的变化对其电化学处理效果有着明显的影响,不同形态的氨氮在电极表面的反应活性和反应路径都有所不同<sup>[3]</sup>。

### 3.4 污水初始浓度和成分

若初始浓度过高,意味着污染物总量庞大,电化学处理系统需要应对更大的负荷。例如,高浓度的有机物可能会在电极表面迅速聚集,阻碍后续反应的进行,使得处理效率降低,需要更久的处理时间或更强的处理条件才能达到理想效果。而污水成分的复杂性更是增加

了处理的变数。生活污水包含多种有机物、无机物以及微生物等。不同类型的有机物，如蛋白质、糖类、油脂等，在电化学处理中的反应活性和机制各不相同。一些复杂的有机大分子可能需要更多的能量和时间来分解，无机物的存在也可能影响电极反应，比如某些阴离子可能与电极产生相互作用。

#### 4 电化学法处理火电企业生活污水的优势

##### 4.1 对氨氮的高效去除

在电化学氧化过程中，通过阳极产生的强氧化性物质（如羟基自由基等），氨氮可被逐步氧化。一方面，在合适的电极电势和反应条件下，氨氮可直接在阳极表面发生氧化反应，转化为氮气从溶液中逸出。另一方面，羟基自由基等活性物质可与氨氮发生间接氧化反应，将其氧化为硝酸盐、亚硝酸盐等中间产物，最终进一步转化为氮气。与传统的生物处理方法相比，电化学法不受污水中温度、微生物适应性等因素的限制。例如，在低温环境下，生物处理中微生物活性降低，氨氮去除效率明显下降，而电化学法仍能保持稳定的处理能力。实验数据表明，在特定的电化学处理条件下，氨氮的去除率可高达90%以上，处理速度也更快，能在短时间内使污水中的氨氮含量达到排放标准，有效避免了氨氮对环境造成的富营养化等危害，为火电企业生活污水的氨氮处理提供了高效可靠的途径。

##### 4.2 对COD和BOD的有效降低

从电化学氧化角度来看，污水中的有机污染物在电极表面或在由电极反应产生的强氧化性物质作用下发生分解。对于COD所代表的有机物，无论是溶解性的小分子有机物还是大分子的复杂有机物，都能在阳极表面发生氧化反应，化学键断裂，逐步被氧化为二氧化碳和水等简单无害的物质。例如，一些芳香族有机物在电化学氧化过程中，其环状结构被破坏，实现彻底降解。对于BOD相关的可生物降解有机物，电化学处理同样有效。一方面，直接氧化作用能去除部分易氧化的有机物；另一方面，电化学过程可以改变有机物的结构，使其更容易被后续可能存在的微生物进一步分解。与传统处理方法相比，电化学法对有机物的去除不受污水中有机物浓度波动和种类多样性的影响。

##### 4.3 悬浮物的快速去除

在电化学絮凝过程中，当电流通过电极时，电极材料会发生溶解，产生金属离子，如铁电极产生亚铁离子。这些金属离子在溶液中会水解形成一系列具有絮凝作用的多核羟基络合物。这些络合物可以与污水中的悬浮物通过吸附、网捕等作用相结合。对于粒径较小的悬浮物颗粒，它们能够被絮凝剂吸附，逐渐聚集成较大的絮体。而对于较大的悬浮物，絮凝剂则可以通过网捕作用将其包裹在絮体中。与传统的絮凝方法相比，电化学絮凝形成的絮体更大、更密实，沉淀速度更快。在实际的火电企业生活污水处理中，污水中的泥沙、纤维等悬浮物在电化学处理下能迅速沉降。例如，在实验条件下，处理后的污水中悬浮物含量可以在短时间内降低至很低水平，有效提高了污水的澄清度，减少了后续处理的负荷，并且这种处理方式相对高效且易于控制，能够快速实现污水中悬浮物的分离去除，保障污水处理流程的顺利进行<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

随着研究的不断深入，电化学法处理生活污水取得了显著进展。在理论方面，对其原理、电极反应机制的认识不断深化；多种处理方法如氧化、还原、絮凝、浮选和消毒法等不断被开发和优化。然而，该方法仍面临一些挑战，如能耗较高、电极材料的稳定性和成本等问题。未来，应着重研发新型高效电极材料、优化处理工艺以降低能耗，加强与其他技术的联合应用。相信随着技术的不断进步，电化学法在生活污水的处理中将发挥更大的作用，为环境保护和水资源可持续利用做出重要贡献。

#### 参考文献

- [1]张华,李明.电化学法处理生活污水研究进展[J].环境科学与技术,2023,46(8):78-82.
- [2]王强,刘洋.电化学氧化技术在生活污水处理中的应用[J].水处理技术,2023,45(6):90-94.
- [3]陈华,赵军.电化学还原技术在生活污水处理中的研究进展[J].环境工程学报,2023,20(3):123-127.
- [4]杨志强,孙涛.电化学法处理生活污水的优化与应用[J].环境保护科学,2023,35(7):85-89.