

# 零排放技术在煤化工污水处理中的应用展望

任雄雄<sup>1</sup> 刘明华<sup>2</sup>

1. 陕西榆能化学材料有限公司 陕西 榆林 719000

2. 陕西延长石油榆神能源化工有限责任公司 陕西 榆林 719000

**摘要:** 随着煤化工产业的快速发展,其生产过程中产生的废水问题日益突出,成为制约行业可持续发展的关键因素。本文综述了煤化工企业污水种类及来源,分析了煤化工废水处理的关键技术,特别是泡沫的消除、多元酚的降解、酚类物质的毒性控制及微生物培养等方面,并详细探讨了零排放技术在煤化工污水处理中的应用现状与发展前景。

**关键词:** 零排放技术;煤化工;污水处理

## 引言

煤化工行业作为能源转化与化学品生产的重要领域,其生产过程中产生的废水问题日益凸显。这些废水通常具有高浓度、高盐度、成分复杂等特点,若直接排放将对环境造成严重污染。因此,实现煤化工废水的零排放已成为行业内外共同追求的目标。本文旨在探讨零排放技术在煤化工污水处理中的应用现状与发展前景,以期为行业可持续发展提供参考。

## 1 煤化工企业污水种类及来源

煤化工企业作为能源转换与化学品生产的重要基地,其生产过程中不可避免地会产生大量污水,这些污水不仅种类繁多,而且成分极为复杂,对环境和生态系统构成了潜在威胁。深入了解煤化工企业污水的种类及来源,对于制定有效的废水处理策略至关重要。

### 1.1 气化废水

气化废水是煤化工企业中最具挑战性的废水之一,它源自煤的气化过程。在这个过程中,煤与氧气、水蒸气在高温高压条件下发生化学反应,生成以氢气、一氧化碳为主要成分的水煤气,同时副产大量废水。这些废水中富含氨氮、硫化物、氰化物等多种无机污染物,以及溶解性有机物,如酚类、醇类、醛类等。氨氮的存在不仅增加了废水的毒性,还易导致水体富营养化;而硫化物和氰化物则是剧毒物质,对生物体具有极高的危害性。因此,气化废水的处理难度相对较大,需要采用先进的处理技术以确保达标排放。

### 1.2 焦化废水

焦化废水是煤在高温下与空气反应制取焦炭、焦油及多种气体过程中产生的。这一过程中,煤中的有机物质发生复杂的热解和缩聚反应,生成大量酚类、氰化物、硫化物等有害物质。其中,酚类化合物因其毒性

大、难降解而成为焦化废水处理中的难点。此外,焦化废水中还含有较高的色度和悬浮物,进一步增加了处理难度。针对焦化废水的特点,通常采用生物处理与物理化学处理相结合的方法,以实现污染物的有效去除。

### 1.3 液化废水

煤液化技术是将煤转化为液体燃料的重要途径,但在此过程中也会产生大量废水。这些废水主要来源于煤与氢气在高温高压下的反应以及后续的产品分离和精制过程。液化废水中COD值高,主要来源于未完全反应的有机物和反应过程中生成的中间产物。同时,废水中还含有大量的酚类物质,对生物处理系统造成较大冲击。因此,液化废水的处理需特别关注COD和酚类物质的去除,以确保出水水质满足环保要求<sup>[1]</sup>。

### 1.4 其他废水

除了上述三类主要废水外,煤化工企业还会产生设备冷却水、冲洗水等其他类型的废水。这些废水虽然污染程度相对较低,但由于其产生量大,若不经妥善处理直接排放,仍会对环境造成不良影响。因此,企业需根据废水的特性和产生量,选择合适的处理工艺进行处理,如循环利用、物理处理或生化处理等,以减少废水排放量和降低环境风险。

## 2 煤化工废水处理的关键技术分析

### 2.1 泡沫的消除

煤化工废水中泡沫的形成,不仅是由于表面活性物质的存在,还可能与废水的pH值、温度、流速等因素密切相关。泡沫的存在不仅会增加废水处理的难度,还可能影响设备的正常运行和出水水质。因此,泡沫的消除是废水预处理的重要一环。物理法:虽然机械破碎和静置分层等方法操作简单,但面对高浓度、高粘度的煤化工废水,其效果往往有限。为了提升物理法的效率,可

以结合使用多种物理手段,如引入超声波、电场等辅助手段,以增强泡沫的破碎效果。化学法:添加消泡剂是快速有效的泡沫消除方法,但选择合适的消泡剂并控制其用量是关键。一方面,要确保消泡剂能够迅速破坏泡沫结构;另一方面,还需考虑消泡剂的环保性,避免引入新的污染物。此外,经济性的考量也不容忽视,应综合考虑消泡剂的成本与废水处理的整体效益。生物法:抑泡微生物的培养与应用为泡沫消除提供了一种绿色、可持续的解决方案。通过筛选和驯化具有抑泡能力的微生物,可以在废水处理系统中形成稳定的生物群落,有效抑制泡沫的产生。然而,生物法的实施周期较长,且易受环境条件影响,因此需要加强微生物生长条件的优化与控制。

## 2.2 多元酚的降解途径

多元酚作为煤化工废水中的难降解有机物,其有效降解是废水处理的重要目标。生物降解和化学氧化是两种主要的降解途径,各有优缺点。生物降解:利用微生物的代谢活动将多元酚转化为无害物质,具有成本低、无二次污染等优点。然而,微生物对反应条件较为敏感,如温度、pH值、溶解氧浓度等均需严格控制。此外,针对特定类型的多元酚,还需筛选并培养具有高效降解能力的微生物菌株。为了提升生物降解的效率与稳定性,可以采用固定化微生物技术、构建共生微生物群落等手段。化学氧化:高级氧化技术以其反应速度快、降解效率高等优点在多元酚降解中展现出巨大潜力。然而,高昂的成本和可能产生的中间产物成为其应用的瓶颈。为了降低成本并减少二次污染的风险,可以探索与其他处理技术的联合应用,如将化学氧化与生物降解相结合,形成优势互补的综合处理体系<sup>[2]</sup>。

## 2.3 酚类物质的毒性控制

酚类物质的毒性控制是煤化工废水处理中不可忽视的环节。除了通过生物降解和化学氧化降低其浓度外,还需采取多维度策略进行深度处理。物理吸附:利用活性炭、树脂等吸附材料的高比表面积和优异的吸附性能,可以有效去除废水中的酚类物质。然而,吸附材料的再生与处置问题需引起关注。为了降低运行成本并减少二次污染的风险,可以探索吸附材料的再生利用技术或开发新型环保吸附材料。膜分离技术:超滤、纳滤、反渗透等膜技术以其高效、节能的特点在酚类物质分离中展现出广阔的应用前景。然而,膜污染和膜成本是制约其广泛应用的主要因素。为了克服这些挑战,可以优化膜材料的结构与性能、改进膜组件的设计以及开发膜清洗与再生技术。

## 2.4 酚类物质降解的微生物培养

微生物在酚类物质降解中发挥着核心作用。为了提升微生物的降解效率与稳定性,需要不断创新与优化微生物培养技术。菌种筛选与驯化:通过富集培养、诱变育种等手段筛选具有高效降解能力的微生物菌株,并对其驯化以适应煤化工废水的复杂环境。同时,利用基因工程技术对微生物进行改造以增强其降解能力也是未来的发展方向。生长条件优化:微生物的生长条件对其降解效率具有重要影响。通过优化温度、pH值、营养物质浓度等生长条件可以显著提升微生物的降解性能。此外,还可以探索微生物与其他处理技术的协同作用以进一步提升废水处理效果<sup>[3]</sup>。

## 3 煤化工企业的零排放工艺及应用

### 3.1 含盐污水处理技术

煤化工废水中常含有高浓度的盐分,对处理工艺提出更高要求。含盐污水处理技术主要包括预处理、脱盐处理和资源化利用三个环节:(1)预处理:通过混凝沉淀、气浮等工艺去除废水中的悬浮物、胶体等杂质,降低后续处理负荷。(2)脱盐处理:采用反渗透、电渗析、蒸发结晶等技术去除废水中的盐分。反渗透技术利用半透膜的选择透过性实现盐分与水的分离;电渗析技术则利用电场作用分离带电离子;蒸发结晶技术则通过加热蒸发去除水分,留下固体盐分。(3)资源化利用:对脱盐处理产生的淡水进行回用或排放至环境水体;对结晶盐进行分质处理,提取有价值成分或进行安全处置。

### 3.2 有机废水的处理技术

高级氧化处理:高级氧化技术(AOPs)通过生成高活性的自由基(如羟基自由基 $\cdot\text{OH}$ ),这些自由基具有极强的氧化能力,能够迅速将废水中的难降解有机物分解为小分子物质,甚至矿化为二氧化碳和水。常见的AOPs包括臭氧氧化、芬顿氧化、光催化氧化、超临界水氧化等。这些技术通常与其他处理工艺联合使用,以达到更好的处理效果。

3.2.1 臭氧氧化:臭氧是一种强氧化剂,能够直接与有机物反应或生成羟基自由基间接氧化有机物。臭氧氧化在处理煤化工废水中的酚类、氰化物等难降解有机物方面表现出色。

3.2.2 芬顿氧化:芬顿反应利用亚铁离子( $\text{Fe}^{2+}$ )催化过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ )分解产生羟基自由基,实现对有机物的氧化降解。该工艺简单、反应迅速,但需控制pH值在酸性范围内,且易产生铁泥需后续处理。

3.2.3 光催化氧化:利用半导体材料(如 $\text{TiO}_2$ )在光照条件下产生的光生电子和空穴,引发氧化还原反应,

生成羟基自由基等活性物种，从而降解有机物。光催化氧化技术具有高效、环保、可重复利用等优点，但催化剂的固定化、回收及再利用等问题仍需进一步研究。

3.2.4 超临界水氧化：在超临界状态下（温度和压力均超过水的临界点），水的物理和化学性质发生显著变化，成为一种优良的溶剂和反应介质。超临界水氧化技术利用这一特性，在超临界水中加入有机物和氧气，通过均相反应快速将有机物氧化分解为二氧化碳和水。该技术处理效率高，但设备复杂、能耗大，目前仍处于研究和示范阶段。

### 3.3 浓盐水工艺

零排放技术在煤化工污水处理中的应用前景广阔，特别是在处理中浓盐水方面，通过“预处理+膜浓缩+蒸发浓缩+蒸发分盐结晶”这一综合工艺，展现出了显著的优势和潜力。

3.3.1 预处理是整个工艺的首要环节，通过气浮、混凝、过滤等手段，有效去除废水中的悬浮物、胶体及部分有机物，为后续处理创造有利条件。这一阶段不仅减少了膜浓缩过程中的污染风险，还提高了整体处理效率。

3.3.2 膜浓缩技术作为关键步骤，采用超滤和反渗透等膜分离技术，对预处理后的废水进行深度处理。这一过程能够高效去除废水中的盐分、有机物及重金属等污染物，同时回收大部分清水，实现了水资源的初步循环利用。随着技术的进步，特种反渗透膜（如SUPER RO）和高效反渗透膜（HERO）等新材料的应用，进一步提高了膜浓缩的效率和稳定性，降低了运行成本。

3.3.3 蒸发浓缩和蒸发分盐结晶是处理高浓盐水的核心技术。MVR机械蒸汽再压缩蒸发装置作为核心设备，通过加热使浓盐水中的水分蒸发，同时利用蒸汽的潜热进行热交换，实现能量的高效利用。蒸发过程中，浓盐水被不断浓缩，直至达到结晶条件。多效蒸发结晶器则利用强制循环蒸发的方式，使浓缩液中的盐分以结晶形式析出，进一步提升了废水处理的零排放目标<sup>[4]</sup>。

3.3.4 蒸发分盐结晶技术不仅能有效去除废水中的盐分，还能通过优化结晶工艺，实现盐分的资源化利用。例如，通过调整结晶条件，可以获得高纯度的盐产品，用于化工、建材等领域，实现废物到资源的转化。

## 4 零排放技术在煤化工污水处理中的应用展望

### 4.1 技术创新与集成

未来，煤化工废水处理将更加注重技术创新与集成

应用。通过研发新型高效的处理技术（如新型生物反应器、高效膜材料、新型催化剂等），提高废水处理效率和效果。同时，将多种处理技术进行集成应用，形成综合处理系统，实现废水的深度净化和资源化利用。例如，将生物处理与膜分离技术相结合，提高有机物的去除率和出水水质；将高级氧化技术与物理化学处理相结合，解决难降解有机物的处理问题。

### 4.2 智能化管理

随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展，煤化工废水处理将向智能化管理方向发展。通过建立智能监控系统，实时监测废水处理过程中的各项参数和指标，实现精准调控和优化运行。利用数据分析技术，对废水处理效果进行评估和预测，为决策提供科学依据。同时，开发智能运维平台，实现远程监控、故障诊断和自动调整等功能，降低运维成本和风险。

### 4.3 绿色低碳发展

在实现废水零排放的同时，煤化工企业还需关注绿色低碳发展。通过优化生产工艺、提高能源利用效率、减少污染物排放等措施，降低生产过程中的碳足迹和环境影响。在废水处理过程中，积极采用低碳技术和节能设备，减少能源消耗和碳排放。同时，探索废水处理过程中的碳减排途径，如利用沼气发电、回收热能等，实现废水处理的绿色低碳化。

## 结束语

零排放技术在煤化工污水处理中的应用前景广阔，通过技术创新、智能化管理、绿色低碳发展以及政策法规的推动，煤化工企业可以逐步实现废水处理的零排放目标，为行业可持续发展和环境保护作出积极贡献。未来，随着技术的不断进步和政策的持续完善，煤化工废水处理将更加高效、环保、可持续。

## 参考文献

- [1]彭向阳.煤化工废水零排放工程中膜集成技术的应用[J].水处理技术,2020,46(01):130-133,140.
- [2]兰玲玲.煤化工废水处理工艺技术的研究及应用进展[J].广州化工,2019,47(7):43-45.
- [3]杨海琴.污水零排放技术及其在煤化工污水处理项目中的应用分析[J].决策探索(中),2020(04):23.
- [4]李耀武,李凯.当前零排放技术在煤化工污水处理中的应用[J].化工管理,2020(03):41-42.