

# 煤制气废水处理技术研究进展

李建刚

伊犁新天煤化工有限责任公司 新疆 伊犁 835000

**摘要:** 煤制气产业在发展过程中产生大量成分复杂、处理难度大的废水。本文概述了煤制气废水的来源与特点,详细梳理了物理法、化学法、生物法及深度处理技术等煤制气废水处理领域的研究进展。同时,分析了该技术面临的废水成分复杂、处理成本高、实施难度大及设备维护管理困难等挑战。最后,探讨了煤制气废水处理技术向多种技术高效集成与全流程优化、全过程管理模式转变、数字化与智能化深度演进以及绿色低碳技术发展的趋势,为煤制气废水处理提供参考。

**关键词:** 煤制气废水; 处理技术; 研究进展; 技术挑战; 发展趋势

**引言:** 随着能源需求的增长,煤制气作为一种重要的能源转化方式,其产业规模不断扩大。然而,煤制气生产过程中会产生大量废水,这些废水含有多种有毒有害物质,若未经有效处理直接排放,将对生态环境和人体健康造成严重危害。因此,煤制气废水处理成为该产业可持续发展的关键环节。近年来,众多科研人员致力于煤制气废水处理技术的研究,取得了诸多成果,但同时也面临诸多挑战。深入探讨煤制气废水处理技术的研究进展、挑战及发展趋势,对推动煤制气产业绿色发展具有重要意义。

## 1 煤制气废水概述

### 1.1 煤制气废水的来源

煤制气废水主要源于多个生产环节。在煤气化阶段,煤炭与气化剂在高温高压下反应,煤炭中的杂质及部分反应产物进入水中形成废水。煤炭洗选过程也会产生废水,洗选旨在去除煤炭中的矸石、灰分等杂质,此过程中使用的洗选水会携带大量悬浮物、有机物等。此外,煤气净化环节同样产生废水,为去除煤气中的硫化物、粉尘等杂质,采用湿法净化工艺时,会使用大量水,这些水吸收杂质后成为废水。各环节产生的废水汇集后,形成成分复杂、污染物含量高的煤制气废水。

### 1.2 煤制气废水的特点

煤制气废水具有诸多显著特点。其成分极为复杂,含有酚类、氰化物、氨氮、石油类、硫化物等多种有毒有害物质,这些物质不仅毒性大,且相互之间可能发生反应,增加处理难度。废水污染物浓度高,COD、BOD等指标数值大,对微生物活性抑制作用强,生物处理难度大。水质波动大,受原料煤品质、生产工艺、操作条件等因素影响,不同批次、不同时段产生的废水水质差异明显<sup>[1]</sup>。此外,废水还具有色度高、臭味大等特点,对

环境感官影响较大。

## 2 煤制气废水处理技术研究进展

### 2.1 物理法

物理法作为煤制气废水处理的基础环节,通过物理作用实现污染物分离与初步净化。首先,沉淀法利用重力作用使废水中的悬浮物、胶体颗粒及部分油滴自然沉降,形成底泥实现固液分离。为提升效率,常配合投加絮凝剂,加速颗粒聚集,降低沉淀时间,适用于去除大颗粒杂质及高浊度废水预处理。其次,过滤法通过滤布、活性炭或砂滤等介质截留悬浮物、胶体及部分溶解性有机物,其中砂滤适用于高浓度悬浮物量化处理,精滤(如活性炭过滤)可进一步去除细小颗粒及色度,为后续处理提供稳定水质。再者,气浮法通过向废水中通入微小气泡,使油类、脂肪等轻质悬浮物附着于气泡表面并上浮至水面,形成泡沫层后机械刮除,尤其适用于去除游离油、乳化油及部分有机物,可显著提升废水可生化性。此外,膜分离技术(如超滤、纳滤)利用膜的选择性透过性,实现废水深度净化与回用,通过物理截留作用去除微小颗粒、胶体及部分溶解性污染物,为煤制气废水处理提供高效、稳定的解决方案。

### 2.2 化学法

化学法在煤制气废水处理中发挥着关键作用,通过化学反应实现污染物的转化与去除。首先,化学沉淀法是处理重金属离子的常用手段。向废水中投加氢氧化钠、硫化钠等沉淀剂,重金属离子会与沉淀剂中的阴离子结合,生成难溶性的氢氧化物或硫化物沉淀,从而从废水中分离出来,有效降低重金属含量,避免其对环境和生物的危害。其次,氧化还原法利用氧化剂或还原剂的强氧化还原能力改变污染物的化学结构。氧化剂如臭氧、过氧化氢等,能将废水中的酚类、氰化物等有毒有

机物氧化分解为无毒或低毒的小分子物质；还原剂则可将高价重金属离子还原为低价态，降低其毒性，例如将六价铬还原为三价铬。再者，中和法通过投加酸或碱来调节废水的酸碱度。煤制气废水往往呈酸性或碱性，若直接排放会腐蚀管道和设备，影响后续处理工艺。通过中和反应，使废水pH值达到中性范围，既保护了设备，又为后续生物处理创造了适宜的环境条件。化学法处理效果稳定、反应速度快，但需合理控制药剂投加量，防止二次污染。

### 2.3 生物法

生物法凭借经济高效、环境友好等优势，在煤制气废水处理领域应用广泛，其核心是利用微生物的代谢作用去除污染物。首先，好氧生物处理是常用技术之一。在有氧条件下，好氧微生物通过分解废水中的有机物获取能量，将其转化为二氧化碳和水，实现有机物的降解。活性污泥法和生物膜法是好氧处理的典型代表，活性污泥法通过曝气使活性污泥与废水充分混合，微生物附着在污泥上对污染物进行吸附和降解；生物膜法则是微生物附着在填料表面形成生物膜，废水与生物膜接触时，污染物被吸附和分解。其次，厌氧生物处理适用于高浓度有机废水。在无氧环境中，厌氧微生物将有机物分解为甲烷和二氧化碳等，不仅能降低废水中的有机物含量，还能产生清洁能源甲烷。再者，为提高处理效果，常将好氧与厌氧工艺组合使用。先通过厌氧处理降低废水中的有机物浓度，提高其可生化性，再利用好氧处理进一步去除残留的有机物和氨氮等污染物。这种组合工艺能充分发挥两种处理方法的优点，实现更高效的废水净化。

### 2.4 深度处理技术

深度处理技术旨在进一步去除煤制气废水中经常规处理后仍残留的难降解有机物、微量重金属及色度等，以满足更高标准的排放要求或实现废水回用。首先，高级氧化技术是深度处理的关键手段。它利用强氧化性的自由基，如羟基自由基，将废水中的有机物彻底氧化分解为二氧化碳和水。常见的高级氧化方法有臭氧氧化、过氧化氢氧化、光催化氧化等，这些方法能高效处理多种难降解有机物，且反应速度快、处理效果好。其次，膜分离技术也发挥着重要作用。反渗透膜可以截留废水中的盐分、小分子有机物等，使出水水质达到高纯度标准，适用于对水质要求极高的回用场景；超滤膜则能有效去除悬浮物和大分子有机物，保障后续处理单元的稳定运行。再者，吸附技术凭借吸附剂的高比表面积和特殊孔隙结构，对废水中的污染物进行选择性的吸附。活性

炭、树脂等吸附剂对有机物、重金属等有较好的吸附效果，通过定期更换或再生吸附剂，可实现污染物的持续去除。深度处理技术的综合应用，为煤制气废水的达标排放和资源化利用提供了可靠保障<sup>[2]</sup>。

## 3 煤制气废水处理技术面临的挑战

### 3.1 废水成分复杂，处理难度大

煤制气废水成分极为繁杂，含有酚类、氰化物、氨氮、石油类、硫化物以及多种重金属离子等有毒有害物质。这些物质不仅毒性大，而且相互之间可能发生复杂的化学反应，形成更难处理的络合物或中间产物。同时，不同来源、不同批次的废水水质波动大，导致处理工艺难以稳定运行。常规处理方法往往难以同时高效去除多种污染物，需要多种技术联合使用，进一步增加了处理难度，使得废水达标排放面临巨大挑战。

### 3.2 处理成本高

煤制气废水处理成本高昂，主要体现在多个方面。首先，处理过程中需要投加大量的化学药剂，如絮凝剂、沉淀剂、氧化剂等，药剂费用占据较大比重。其次，为满足处理要求，需建设复杂且规模较大的处理设施，设备购置和安装成本高。再者，废水处理能耗大，尤其是高级氧化、膜分离等深度处理技术，运行过程中的电力消耗显著。

### 3.3 技术实施难度大

煤制气废水处理技术实施面临诸多困难。一方面，部分先进处理技术对操作条件要求苛刻，如高级氧化技术需精确控制反应条件，包括反应温度、pH值、氧化剂投加量等，稍有偏差就会影响处理效果。另一方面，多种技术组合使用时，各工艺单元之间的衔接和协同难度大，容易出现相互干扰的情况。而且，煤制气企业生产规模和废水水质差异大，难以直接套用现有成熟技术，需要根据实际情况进行定制化设计和优化，这进一步增加了技术实施的难度和不确定性。

### 3.4 设备维护和管理困难

煤制气废水处理设备维护和管理面临诸多挑战。废水中的腐蚀性物质，如酸性、碱性物质以及某些化学药剂，会对设备造成严重腐蚀，缩短设备使用寿命，增加设备更换频率。同时，废水中的悬浮物、颗粒物等容易在设备内沉积、堵塞，影响设备正常运行，需要频繁清理和维护。此外，处理工艺复杂，涉及多种设备和仪器，对操作人员的专业素质要求高，若操作不当易引发设备故障<sup>[3]</sup>。

## 4 煤制气废水处理技术的发展趋势

### 4.1 多种技术的高效集成与全流程优化

未来煤制气废水处理将朝着多种技术高效集成与全流程优化的方向发展。物理、化学、生物及深度处理技术各有优劣，单一技术难以满足复杂废水处理需求。通过将不同技术巧妙组合，如先采用物理法去除悬浮物，再用化学法降解有毒有害物质，接着用生物法进一步处理有机物，最后以深度处理技术实现达标排放或回用，能充分发挥各技术优势，提升处理效果。同时，全流程优化将贯穿废水处理各个环节，从废水产生源头控制，到处理工艺参数精准调控，再到处理后水质的实时监测与反馈调整，形成一套完整、高效、协同的处理体系，提高资源利用率，降低处理成本，实现煤制气废水处理的高效、稳定与可持续。

#### 4.2 全过程管理模式转变

煤制气废水处理的全过程管理模式将发生深刻转变。传统管理模式侧重于末端治理，对废水产生过程缺乏有效管控。未来将转变为源头预防、过程控制和末端治理相结合的全过程管理模式。在源头预防方面，通过优化煤制气生产工艺，减少废水产生量和污染物含量；过程控制则利用先进的监测技术，实时掌握废水水质变化，及时调整处理工艺参数，确保处理效果稳定；末端治理注重达标排放与资源化利用。此外，还将建立完善的管理制度和责任体系，明确各部门和人员在废水处理中的职责，加强部门间协作与信息共享，形成全方位、多层次的管理格局，提升废水处理管理水平。

#### 4.3 数字化与智能化深度演进

随着信息技术的发展，煤制气废水处理将深度融入数字化与智能化元素。数字化方面，借助物联网、大数据等技术，构建废水处理智能监测系统，实时采集废水水质、处理设备运行状态等数据，并通过数据分析和挖掘，为处理工艺优化提供依据。智能化方面，引入人工智能算法和专家系统，实现对废水处理过程的自动控制和智能决策。例如，根据废水水质变化自动调整药剂投加量、曝气时间等参数，提高处理效率和稳定性。同时，利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，开展远程培训和设备维护指导，提升操作人员技能水平和设

备维护效率，推动煤制气废水处理向智能化、自动化方向迈进。

#### 4.4 绿色低碳技术发展

在全球倡导绿色低碳发展的大背景下，煤制气废水处理技术也将朝着绿色低碳方向演进。一方面，研发和应用低能耗、低药耗的处理技术，如新型生物处理技术、高效氧化技术等，减少处理过程中的能源消耗和化学药剂使用，降低碳排放。另一方面，加强废水资源化利用，将处理后的废水回用于煤制气生产过程或其他工业领域，实现水资源的循环利用，减少新鲜水取用量。此外，探索从废水中回收有用物质，如酚类、重金属等，实现资源的高效利用和变废为宝。通过绿色低碳技术的发展，煤制气废水处理不仅能实现达标排放，还能降低对环境的影响，推动煤制气产业向绿色、可持续方向转型<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

煤制气废水成分复杂、处理难度大，但随着研究不断深入，其处理技术取得了显著进展。物理法为后续处理奠定基础，化学法有效转化与去除污染物，生物法凭借经济高效优势广泛应用，深度处理技术则保障了废水达标排放与回用。未来，多种技术的高效集成、全过程管理模式的优化、数字化与智能化深度融合以及绿色低碳技术的创新发展，将成为煤制气废水处理领域的重要方向。相信在科研人员的持续努力下，煤制气废水处理技术将不断完善，实现更高效、环保、可持续的处理目标，为煤制气产业的绿色发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]高慧杰, 张广智等.煤化工废水处理技术的相关研究[J].石油炼制与化工, 2021,45(5):87-90.
- [2]张博, 戚可卓.煤化工废水处理技术与工程应用[J].广东化工, 2020(13):140-142, 160.
- [3]张润楠等.煤气化废水深度处理与回用研究进展[J].化工学报, 2021(09):341-342.
- [4]汪寿建. 现代煤化工技术发展趋势及应用综述[J].化工进展, 2022, 35(13): 653-664.