

冶金工业焦化废水处理工艺研究

魏振海

宁波钢铁有限公司 浙江 宁波 315807

摘要：冶金工业焦化废水成分复杂，含有大量酚类、多环芳烃、氨氮等有毒有害物质，处理难度大。当前，物理、化学、生物及膜处理等单一工艺各有优劣，联合处理工艺逐渐成为研究热点。然而，处理过程中仍面临污染物成分复杂、成本高昂、二次污染等问题。通过开发联合处理工艺、研发新型处理技术与材料、加强废弃物资源化利用等策略，有望提升处理效率，实现焦化废水的无害化与资源化，为冶金工业可持续发展提供技术支撑。

关键词：冶金工业；焦化废水；处理工艺

引言

随着冶金工业快速发展，焦化废水排放带来的环境污染问题日益严峻。此类废水不仅含有高浓度有机污染物与氨氮，还包含多种难降解物质，对生态环境和人类健康构成潜在威胁。传统单一处理工艺难以满足日益严格的环保要求，亟需深入探究高效、经济、环保的处理工艺。本文从焦化废水特性出发，系统分析常见处理工艺，探讨其面临的挑战，并提出改进策略，以期为冶金工业焦化废水处理技术发展提供参考。

1 冶金工业焦化废水概述

冶金工业焦化废水源自煤炭高温干馏、煤气净化及化产回收等复杂工艺流程。在焦炉炼焦过程中，煤炭经过高温裂解产生焦炭、焦炉煤气和焦油等产物，伴随这一过程，煤中含有的大量有机物、氮、硫等元素发生转化，部分溶解于剩余氨水中，形成成分复杂的焦化废水。煤气净化过程中的洗气、脱硫、脱氨等工序，以及焦油加工、粗苯精制等化产回收环节，均会产生不同特性的废水，这些废水混合后构成最终的焦化废水。焦化废水水质极具复杂性与特殊性，其含有酚类、多环芳烃、含氮杂环化合物、氰化物、硫化物等数百种有机和无机污染物。酚类物质作为其中典型污染物，含量可高达数千毫克每升，不仅具有较强的毒性，还会对微生物的活性产生抑制作用。多环芳烃如苯、萘、菲等，大多属于致癌、致畸、致突变的持久性有机污染物，难以自然降解。含氮杂环化合物如吡啶、喹啉等，结构稳定，化学性质活泼，进一步增加了废水处理的难度。焦化废水的水质水量波动大，其COD（化学需氧量）一般在2000-10000mg/L之间，氨氮浓度可达500-2000mg/L，酸碱度（pH）范围通常在6-10之间，这些水质特征使其处理技术要求极高。若未经有效处理直接排放，焦化废水会对环境造成严重危害。其中的有毒有害物质会破坏水

体生态平衡，抑制水生生物的生长与繁殖，导致水体生物多样性下降。含氮、硫污染物进入水体后，会引发水体富营养化及产生恶臭，影响周边生态环境与居民生活质量。焦化废水的处理面临着众多技术难题，其所含的难降解有机物，常规的生物处理技术难以实现有效去除，需要结合高级氧化、物理化学处理等多种技术手段协同处理，这对处理工艺的优化与创新提出了迫切需求。

2 冶金工业焦化废水常见处理工艺分析

2.1 物理处理工艺

（1）物理处理工艺依托物质的物理特性实现对焦化废水中污染物的分离与去除，常用的方法有吸附、沉淀和过滤。吸附技术中，活性炭凭借巨大的比表面积和丰富的孔隙结构，对废水中的酚类、多环芳烃等有机污染物展现出优异的吸附能力，通过范德华力和化学键作用将污染物固定于表面，达到净化水质目的。沉淀工艺利用重力作用，向废水中投加絮凝剂，使悬浮颗粒相互凝聚形成较大絮体，加速沉降分离，有效去除废水中的悬浮固体和部分胶体物质。（2）过滤则借助石英砂、无烟煤等滤料组成的过滤层，截留废水中残留的细小颗粒和悬浮物，进一步提升出水水质。物理处理工艺操作简便，能快速降低废水的浊度和部分污染物浓度，常作为焦化废水处理的预处理环节。（3）该工艺对溶解性有机污染物和无机离子的去除效果有限，且吸附材料存在饱和后需再生或更换的问题，处理成本会随运行时间增加，在实际应用中需与其他工艺联合使用，以实现更好的处理效果^[1]。

2.2 化学处理工艺

（1）化学处理工艺通过化学反应改变焦化废水中污染物的化学性质，实现污染物的降解与去除，其中氧化还原、中和以及化学沉淀等技术应用广泛。高级氧化技术利用羟基自由基等强氧化性物质，将废水中的难降解

有机污染物彻底氧化分解为二氧化碳和水,如芬顿氧化法,通过亚铁离子与过氧化氢的反应产生大量羟基自由基,对酚类、氰化物等污染物有显著的降解作用。(2)中和工艺则是根据废水的酸碱度,投加酸性或碱性药剂,调节废水的pH值至合适范围,为后续处理创造条件,同时还能去除部分重金属离子。化学沉淀通过投加特定的沉淀剂,与废水中的重金属离子或磷酸根、铵根等形成难溶性沉淀物,进而实现污染物的分离。(3)化学处理工艺反应迅速,对特定污染物去除效率高,可有效降低废水的化学需氧量(COD)和氨氮等指标。化学药剂的大量使用会产生二次污染问题,增加污泥处理难度,且处理成本较高,需要精确控制反应条件以确保处理效果和经济性。

2.3 生物处理工艺

(1)生物处理工艺借助微生物的代谢活动,将焦化废水中的有机污染物转化为二氧化碳、水和微生物细胞物质,主要包括好氧处理、厌氧处理及厌氧-好氧联合处理等方式。好氧生物处理中,活性污泥法和生物膜法是常用技术,活性污泥中的微生物群体在充足的溶解氧条件下,通过吸附、代谢作用降解废水中的有机污染物;生物膜法利用附着在填料表面的微生物膜,对废水中的污染物进行截留和分解。(2)厌氧处理在无氧环境下,利用厌氧微生物的发酵、产酸和产甲烷等阶段,将大分子有机污染物分解为小分子物质和甲烷气体,不仅能有效降低废水的COD,还能产生清洁能源。厌氧-好氧联合处理结合了两者的优势,先通过厌氧处理降解部分难降解有机物,提高废水的可生化性,再利用好氧处理进一步去除剩余污染物。(3)生物处理工艺具有处理成本低、环境友好等优点,是焦化废水处理的核心工艺之一。焦化废水中含有酚类、氰化物等对微生物有毒害作用的物质,会抑制微生物的活性,影响处理效果,因此需要对废水进行预处理,同时还需控制合适的运行条件,以维持微生物的生长和代谢活性^[2]。

2.4 膜处理工艺

(1)膜处理工艺基于膜的选择透过性,实现焦化废水中污染物与水的分离,常见的有反渗透(RO)、纳滤(NF)、超滤(UF)和微滤(MF)等技术。超滤和微滤利用筛分原理,通过膜孔截留废水中的悬浮物、胶体和大分子有机物,可有效去除废水中的颗粒杂质,降低浊度;纳滤膜能够截留二价离子和相对分子质量较大的有机物,对硬度离子和部分有机污染物有较好的去除效果;反渗透膜孔径极小,能截留几乎所有的离子、有机物和微生物,实现废水的深度净化。(2)膜处理工艺具

有分离效率高、出水水质稳定、操作简单、占地面积小等优势,可实现焦化废水的回用,满足工业生产对水质的要求,在水资源循环利用方面具有重要意义。(3)但膜处理工艺存在膜污染问题,废水中的悬浮物、有机物和微生物等会在膜表面和膜孔内积累,导致膜通量下降、分离性能降低,需要频繁进行膜清洗和维护,增加运行成本。膜材料价格较高,且使用寿命有限,进一步限制了该工艺的大规模应用,实际应用中需结合其他工艺进行预处理,以延长膜的使用寿命和提高处理效率。

3 冶金工业焦化废水处理工艺面临的挑战与改进策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 污染物成分复杂

冶金工业焦化废水成分极为复杂,其中包含多种难降解有机污染物与无机污染物。酚类、多环芳烃、吡啶、喹啉等有机化合物不仅化学结构稳定,且部分具有生物毒性,常规生物处理工艺中的微生物难以将其有效分解。例如,多环芳烃中萘、蒽等物质,因具有稠环结构,抗降解能力强,易在环境中累积。废水中还含有氨氮、氰化物、硫化物等无机污染物,氨氮浓度通常高达数千毫克每升,氰化物和硫化物具有剧毒性,这些污染物的存在不仅增加了处理难度,不同污染物之间的相互作用还可能影响处理效果。废水中还含有微量重金属离子,如铅、镉、汞等,进一步加剧了废水处理的复杂性,对处理工艺的多样性和适应性提出了极高要求。

3.1.2 处理成本高昂

冶金工业焦化废水处理成本居高不下主要体现在多个环节。从预处理阶段来看,为去除废水中的悬浮物、油类物质等,需使用大量的混凝剂、絮凝剂等药剂,药剂采购成本持续增加。在生物处理过程中,由于废水中污染物成分复杂,微生物驯化难度大,需要维持适宜的营养比例和环境条件,能耗和营养物质补充成本显著上升。深度处理阶段采用的膜分离、高级氧化等技术,设备投资成本高,且膜组件等关键部件使用寿命有限,更换成本高昂。例如,反渗透膜在处理焦化废水时,易受污染物污染导致通量下降,频繁的清洗和更换增加了运行成本。处理过程中的污泥处置也是一笔不小的开支,污泥脱水、稳定化处理及最终处置都需要投入大量人力、物力和财力,这些因素共同导致了焦化废水处理成本居高不下^[3]。

3.1.3 二次污染问题

在冶金工业焦化废水处理过程中,二次污染问题不容忽视。生物处理产生的剩余污泥中,富集了大量难降解有机物、重金属和病原菌等有害物质。若处置不当,

这些污染物可能通过土壤、地下水等途径进入环境，造成二次污染。例如，污泥填埋后，其中的重金属可能随渗滤液迁移，污染周边土壤和地下水环境。化学处理过程中使用的大量化学药剂，如在高级氧化过程中使用的强氧化剂，若未完全反应或处理不彻底，会残留在处理后的水体中，对生态环境和后续回用造成潜在威胁。处理过程中产生的废气，如氨氮吹脱过程中释放的氨气，以及污泥处理过程中产生的硫化氢等恶臭气体，若未经有效处理直接排放，会对大气环境造成污染，影响周边居民的生活质量和身体健康。

3.2 改进策略

3.2.1 开发联合处理工艺

开发联合处理工艺是应对冶金工业焦化废水复杂特性的有效途径。将生物处理与物理化学处理相结合，能够充分发挥不同处理方法的优点。例如，先采用预处理工艺去除废水中的悬浮物、油类和部分无机污染物，减轻后续处理负荷；再利用厌氧生物处理技术降解大分子难降解有机物，将其转化为小分子物质，提高废水的可生化性；之后通过好氧生物处理进一步去除有机污染物和氨氮；最后结合高级氧化技术或膜分离技术进行深度处理，确保出水水质达到排放标准。这种联合处理工艺可以针对废水中不同污染物的特性，在不同处理阶段进行针对性处理，有效提高处理效率，降低单一处理工艺的局限性，同时减少处理过程中的污染物残留，实现焦化废水的高效处理。

3.2.2 研发新型处理技术和材料

研发新型处理技术和材料是突破现有处理工艺瓶颈的关键。在新型处理技术方面，高级氧化技术的创新发展具有重要意义。如非均相催化氧化技术，通过开发高效催化剂，能够提高自由基的产生效率，增强对难降解有机物的氧化能力，实现更彻底的污染物去除。在新型材料研发上，高性能膜材料的开发可以提升膜分离技术的处理效果和稳定性。例如，具有特殊孔径分布和表面性质的纳滤膜或反渗透膜，能够更有效地截留污染物，同时降低膜污染风险，延长膜使用寿命。新型吸附材料

的研发也备受关注，如具有高比表面积和选择性吸附能力的纳米材料，可针对废水中的特定污染物进行高效吸附去除，为焦化废水处理提供更高效、环保的技术手段。

3.2.3 加强污泥等废弃物处理与资源化利用

加强污泥等废弃物处理与资源化利用是实现冶金工业焦化废水处理可持续发展的重要环节。对于生物处理产生的剩余污泥，可采用热解、厌氧发酵等技术进行处理。热解技术能够在高温缺氧条件下将污泥中的有机物转化为可燃气体、液体燃料和固体炭，实现污泥的减量化和资源化。厌氧发酵技术则可将污泥中的有机物分解产生沼气，作为清洁能源加以利用。对污泥中的重金属进行提取和回收，不仅可以减少污泥的环境风险，还能实现资源的再利用。对于处理过程中产生的其他废弃物，如化学处理过程中的废渣，可通过物理化学方法进行稳定化处理，使其达到无害化标准，然后用于建筑材料等领域，实现废弃物的资源化利用，降低废弃物对环境的影响，提高焦化废水处理的整体效益^[4]。

结语

综上所述，冶金工业焦化废水处理工艺的优化与创新是行业可持续发展的关键。通过对现有物理、化学、生物及膜处理工艺的分析可知，单一工艺存在局限性，联合处理工艺优势显著。面对污染物复杂、成本高、二次污染等挑战，需加快开发联合处理工艺，研发新型处理技术与材料，强化废弃物资源化利用。未来，随着技术不断进步，焦化废水处理将向高效、低耗、绿色方向发展，助力冶金工业实现绿色转型。

参考文献

- [1]张通.冶金工业焦化废水处理技术研究[J].四川有色金属,2022(2):55-57,65.
- [2]万玉华.冶金工业焦化废水处理分析[J].冶金与材料,2023,43(12):70-72.
- [3]李程广.冶金工业焦化废水处理工艺[J].化工管理,2021(22):35-36.
- [4]徐沁方.冶金工业焦化废水处理存在的问题与解决对策[J].当代化工研究,2023(7):72-74.