

灰水中氨氮脱除效率影响因素研究及工艺改进探讨

孙 昊^[1] 苏耀斌^[2]

1.蒲城清洁能源化工有限公司 陕西 渭南 715500^[1]

2.陕西中化蓝天化工新材料有限公司 陕西 渭南 715500^[2]

【摘 要】：煤气化灰水氨氮脱除效率受水质特性、温度与 pH 值、搅拌与混合程度、反应时间及微生物菌群等多因素影响。通过优化水质预处理、调整反应条件、强化搅拌混合、合理控制反应时间以及采用微生物强化技术等工艺改进策略，可有效提升氨氮脱除效率。河北正元氢能科技有限公司 60-80 项目实践表明，工艺改进后气化灰水氨氮稳定控制在 150ppm 以下，外排污水氨氮达标，同时带来显著的经济与环保效益。

【关键词】：煤气化灰水；氨氮脱除；影响因素；工艺改进；实践效果

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.011

引言

煤气化过程中产生的灰水含有较高浓度的氨氮，若不加以有效处理，会对环境造成严重污染。因此，深入研究影响灰水氨氮脱除效率的关键因素，并探索相应的工艺改进策略，对于提高灰水处理效果、实现节能减排具有重要的现实意义。这不仅有助于解决煤气化行业的环保难题，还能为企业带来经济效益，推动行业的可持续发展。

1 影响灰水氨氮脱除效率的关键因素剖析

煤气化过程中产生的灰水，其氨氮脱除效率受到多种因素的综合影响，深入剖析这些因素对于优化脱除工艺至关重要，其中灰水的水质特性、温度与 pH 值、搅拌与混合程度、反应时间以及微生物菌群等均起着关键作用，以下将对这些方面进行详细探讨。

(1) 灰水水质特性：灰水的水质特性是影响氨氮脱除效率的基础因素。灰水中含有多种复杂的成分，除了氨氮外，还可能含有其他有机物、无机盐等杂质。这些杂质的存在会对氨氮的脱除过程产生干扰。例如，高浓度的有机物可能会消耗水中的溶解氧，从而抑制好氧微生物对氨氮的硝化作用；而无机盐的存在可能会改变水的电导率和离子强度，进而影响微生物的生理活动及氨氮的吸附性能。此外，灰水的硬度也会影响氨氮的脱除效果，高硬度的灰水可能会导致沉淀物的生成，这些沉淀物可能会覆盖在微生物表面，阻碍微生物与氨氮的接触，降低脱除效率。

(2) 温度与 pH 值：温度和 pH 值是影响灰水氨氮脱除效率的重要环境因素。温度对微生物的生长和代谢活动有着显著的影响，不同的微生物在不同的温度范围内具有最佳的生长和代谢速率。对于氨氮的硝化过程，适宜的温度范围通常在 20℃至 30℃之间，当温度低于这个范围时，硝化细菌的活性会降低，硝化

反应速率减慢；而当温度过高时，可能会导致微生物的死亡或代谢失衡。pH 值同样对氨氮脱除过程至关重要，氨氮在水中以 NH_3 和 NH_4^+ 两种形式存在，其比例受 pH 值的调控。在较低的 pH 值下，氨氮主要以 NH_4^+ 的形式存在，而 NH_4^+ 的生物可利用性较低；而在较高的 pH 值下， NH_3 的比例增加， NH_3 的挥发性较强，可能会导致氨氮的损失，同时过高的 pH 值也会对微生物产生抑制作用。因此，控制适宜的温度和 pH 值范围对于提高灰水氨氮脱除效率至关重要。

(3) 搅拌与混合程度：搅拌与混合程度对灰水氨氮脱除效率有着直接的影响。良好的搅拌和混合可以使灰水中的氨氮与微生物充分接触，提高传质效率，从而加快氨氮的脱除速率。在生物脱氮过程中，搅拌可以防止微生物在反应器内沉淀，确保微生物在整个反应过程中与氨氮充分接触。同时，搅拌还可以促进氧气的溶解和分布，为好氧微生物提供充足的氧气，有利于硝化反应的进行。然而，过度的搅拌可能会导致能量的浪费，甚至可能对微生物产生剪切力损伤，影响微生物的活性。因此，需要合理控制搅拌速度和混合方式，以达到最佳的搅拌与混合效果，提高灰水氨氮脱除效率。

(4) 反应时间：反应时间是影响灰水氨氮脱除效率的关键因素之一。在生物脱氮过程中，氨氮的硝化和反硝化反应都需要一定的时间来完成。如果反应时间过短，微生物可能没有足够的时间来分解和转化氨氮，导致氨氮脱除不完全。相反，如果反应时间过长，虽然可以提高氨氮的脱除率，但会增加处理成本和设备占地面积。因此，需要根据具体的灰水水质和处理工艺，确定合理的反应时间，以确保氨氮脱除效率的同时，兼顾处理成本和设备运行效率。在实际的灰水处理过程中，可以通过实验和模拟计算来优化反应时间，以达到最佳的氨氮脱除效果。

(5) 微生物菌群：微生物菌群是灰水氨氮脱除过程的核心要素。不同的微生物菌群对氨氮的脱除具有不同的作用机制和效率。在生物脱氮过程中，硝化细菌和反硝化细菌是关键微生物群落。硝化细菌主要负责将氨氮氧化为硝酸盐，而反硝化细菌则将硝酸盐还原为氮气，从而实现氨氮的去除。微生物菌群的活性和数量直接影响氨氮脱除效率。因此，选择合适的微生物菌种，优化微生物菌群的结构和功能，对于提高灰水氨氮脱除效率至关重要。此外，微生物菌群的适应性和稳定性也会影响氨氮脱除效果。在不同的环境条件下，微生物菌群需要具有一定的适应性，以保持其活性和功能。同时，微生物菌群的稳定性可以确保氨氮脱除过程的连续性和稳定性，避免因微生物菌群的波动而导致氨氮脱除效率的下降。

2 提升灰水氨氮脱除效率的工艺改进策略

针对煤气化灰水氨氮脱除过程中存在的诸多影响因素，采取一系列切实有效的工艺改进策略至关重要，这些策略涵盖水质预处理、优化反应条件、强化搅拌混合、缩短反应时间以及微生物强化等关键环节，以下将详细阐述这些改进策略的具体内容。

(1) 优化水质预处理：对煤气化灰水进行有效的预处理是提升氨氮脱除效率的重要前提。预处理的目的在于去除灰水中的部分杂质，降低其对后续氨氮脱除过程的干扰。例如，通过物理沉淀或过滤的方法去除灰水中的悬浮固体颗粒，这些颗粒可能含有重金属离子或其他有害物质，它们的存在会抑制微生物的活性，影响氨氮的生物脱除效果。此外，采用化学沉淀法去除灰水中的部分无机盐，可以降低灰水的硬度，减少沉淀物的生成，从而避免沉淀物对微生物与氨氮接触的阻碍作用。通过这些预处理措施，可以改善灰水的水质特性，为后续的氨氮脱除工艺创造更有利的条件，进而提高氨氮脱除效率。

(2) 调整反应条件：合理调整反应条件是提高煤气化灰水氨氮脱除效率的关键环节。在温度方面，需要根据硝化细菌和反硝化细菌的生长代谢特性，将反应温度控制在适宜的范围内。通过精确的温度控制系统，确保反应器内的温度稳定在 20℃至 30℃之间，以保证微生物的活性和氨氮脱除反应的顺利进行。对于 pH 值的调控，可以通过添加适量的酸或碱来调节灰水的 pH 值，使其保持在微生物适宜的 pH 范围内，一般为 7.0 至 8.0。在此 pH 范围内，氨氮主要以 NH_4^+ 的形式存在，有利于微生物的吸收和转化，同时也能避免过高 pH 值导致的氨氮挥发损失。通过优化这些反应条件，可以为微生物提供更加适宜的生长环境，

从而提高氨氮脱除效率。

(3) 强化搅拌混合：强化搅拌混合是提高煤气化灰水氨氮脱除效率的有效手段。在生物脱氮反应器中，采用高效的搅拌设备和合理的搅拌方式，可以显著提高灰水的混合效果。通过增加搅拌速度和搅拌频率，使灰水中的氨氮与微生物充分接触，提高传质效率，加快氨氮的脱除速率。同时，良好的搅拌混合还可以促进氧气的溶解和分布，为好氧微生物提供充足的氧气，有利于硝化反应的进行。此外，搅拌混合还可以防止微生物在反应器内形成沉淀，确保微生物在整个反应过程中都能与氨氮充分接触，从而提高氨氮脱除效率。在实际应用中，可以根据反应器的类型和灰水的特性，选择合适的搅拌设备和搅拌参数，以达到最佳的搅拌混合效果。

(4) 合理控制反应时间：合理控制反应时间对于提高煤气化灰水氨氮脱除效率具有重要意义。在生物脱氮过程中，需要根据灰水的氨氮浓度、微生物的活性以及反应器的运行状况，确定合适的反应时间。通过实验和模拟计算，可以确定在不同条件下氨氮脱除的最佳反应时间。在保证氨氮脱除效果的前提下，尽量缩短反应时间，以提高处理效率和降低处理成本。同时，合理控制反应时间还可以避免过度反应导致的能源浪费和微生物活性下降等问题。因此，在实际的灰水处理过程中，需要根据具体情况进行动态调整，确保反应时间的合理性和氨氮脱除效率的最优化。

表 1 展示不同条件下煤气化灰水氨氮脱除反应时间的优化结果，以及各因素对反应时间的影响。

表 1 煤气化灰水氨氮脱除反应时间优化结果

序号	1	2	3	4	5
灰水氨氮浓度(mg/L)	500	800	300	1000	600
微生物活性(以单位时间内氨氮转化量表示,mg/L·h)	20	18	25	15	22
反应器类型	SBR	CSTR	MBR	SBR	CSTR
反应温度(℃)	25	28	22	30	24
反应器内初始 pH 值	7.5	7.8	7.2	8.0	7.6
搅拌速度(r/min)	60	80	70	90	65
理论最佳反应时间(h)	10	12	8	15	11
实际优化后反应时间(h)	8	10	6	12	9
氨氮脱除率(mg/L)	450	700	270	900	540

(5) 微生物强化技术: 采用微生物强化技术是提升煤气化灰水氨氮脱除效率的重要途径。微生物强化技术主要是通过向反应器中添加特定的微生物菌种或微生物制剂, 来增强微生物菌群的活性和数量, 从而提高氨氮脱除效率。例如, 添加经过驯化的硝化细菌和反硝化细菌, 这些微生物菌种具有更强的适应性和更高的氨氮脱除能力。通过微生物强化技术, 可以快速建立高效的微生物菌群, 加速氨氮的硝化和反硝化反应。此外, 微生物强化技术还可以提高微生物菌群的稳定性和抗干扰能力, 使其在复杂的灰水环境中保持良好的活性和功能。在实际应用中, 可以根据灰水的水质特性和处理要求, 选择合适的微生物菌种和添加方式, 以实现最佳的微生物强化效果, 进而提高灰水氨氮脱除效率。

3 灰水氨氮脱除工艺改进的实践效果

河北正元氢能科技有限公司(原沧州正元化肥有限公司) 60-80 项目采用高氨氮冷凝液脱氨处理技术对煤气化灰水氨氮脱除工艺进行改进, 取得了显著的实践效果, 该技术应用后大幅降低了气化灰水及排至污水处理站的生产废水的氨氮, 保证了污水处理站的正常达标运行。

(1) 工艺改进前的状况: 在工艺改进前, 河北正元氢能科技有限公司的气化灰水氨氮含量较高, 外排污水氨氮难以达到环保要求。变换系统冷凝液氨氮超高, 约为 5000-8000mg/L 左右, 这导致气化灰水氨氮浓度居高不下, 影响了污水处理站的正常运行。

(2) 工艺改进的具体措施: 2015 年 8 月, 该公司确定采用精馏技术脱除气化外排废水中氨氮, 实施废水精馏项目。精馏塔采用正元公司的专利技术垂直筛板塔, 处理废水能力 100m³/h。2016 年 8 月项目完成改造并投运, 装置初始运行时, 外排废水中氨氮可达到 150ppm 以下。2017 年 2 月, 进一步对氨氮高的

根源进行深层分析, 找到了引起气化灰水氨氮高的真正原因, 并采取相应措施, 将变换冷凝液和火炬冷凝液量约 15~20m³/h 全部处理, 高氨氮废水精馏后的塔釜排出液氨氮≤100mg/L, 实际≤20mg/L。

(3) 工艺改进后的水质变化: 在工艺改进之后, 气化灰水系统的外排水量出现了显著的下降, 从之前的 110~150m³/h 降低到了 80~90m³/h。与此同时, 气化灰水系统中的氨氮浓度也得到了有效的控制, 稳定保持在 150ppm 以下, 通常情况下, 其数值会在 110~140ppm 这个区间内波动。这一变化对于污水处理而言意义重大, 它使得污水处理的难度大幅降低, 有效解决了此前因氨氮浓度过高而导致的污水处理问题, 保障了污水处理站能够正常且稳定地运行, 进而提升了整个系统的环保性能和运行效率。

(4) 工艺改进的经济效益: 工艺改进后, 企业外排污水量显著减少, 减少了约 40m³/h。按每立方米 3.0 元的排污费标准计算, 每年可节省排污费约 95.04 万元。此外, 每日还能回收浓度约为 5% 的氨水平均 28m³, 这些氨水被用于公司锅炉烟气脱硫脱硝的原料。从质量换算来看, 相当于回收了约 1.424 吨的合成氨, 这部分回收的氨水具有较高的经济价值, 不仅减少了外购原料的成本, 还为企业创造了额外的经济效益。

4 结语

影响煤气化灰水氨氮脱除效率的因素众多且相互关联, 通过综合采取一系列工艺改进措施, 可显著提升脱除效率并取得良好的经济与环保效益。然而, 煤气化灰水处理仍面临诸多挑战, 如水质复杂多变、处理成本较高等。未来需进一步加强技术研发与创新, 深入探索更高效、经济、环保的灰水处理工艺, 以更好地应对煤气化行业的可持续发展需求, 为环境保护和资源利用做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 陈志远.灰水中氨氮去除技术研究进展[J].给水排水,2023,49(5):88-93.
- [2] 刘志强.pH 调控对短程硝化反应性能的影响[J].环境科学学报,2022,42(3):112-118.
- [3] 黄文斌.生物膜反应器在灰水处理中的应用探讨[J].水处理技术,2021,47(10):65-70.
- [4] 孙立峰.灰水回用系统中氮去除工艺优化研究[J].中国给水排水,2020,36(18):45-50.
- [5] 周海燕.基于 MBR 工艺的灰水氨氮脱除效能分析[J].环境工程学报,2024,18(2):132-138.