

AOA 工艺中厌氧氨氧化技术应用效果探索

梁辉政

广东北控环保装备有限公司

摘要：随着城市化进程的加快和人口数量的增加，市政污水处理成了一项重要的环境保护工作，氨氮和有机物质是市政污水中的主要污染物之一，对水体环境和生态系统造成严重影响。传统的生物处理技术虽然能够有效去除污水中的氨氮和有机物质，但存在处理效率低、能耗高、产生大量污泥等问题。厌氧氨氧化技术作为一种新型的污水处理技术，具有高效、节能、减少污泥产生等优点，受到了广泛关注。AOA工艺作为厌氧氨氧化技术的一种重要形式，通过利用厌氧氨氧化细菌将氨氮氧化为亚硝酸盐和硝酸盐，进而实现氨氮的去除。然而，目前对于基于AOA工艺的厌氧氨氧化技术在市政污水处理中的应用研究还比较有限。本研究旨在探索基于AOA工艺的厌氧氨氧化技术在处理市政污水中的效果，并对其处理效率、稳定性和适用性进行深入研究，为推动AOA工艺在市政污水处理领域的应用提供理论和实践支持。

关键词：AOA工艺；厌氧氨氧化技术；市政污水；效果

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.117

全球各地的地缓流水体目前均有不同程度的富营养化趋势，氮磷会造成水环境的巨大污染，目前受到了越来越多的重视，一般来说，污水中的碳氮比可以满足正常的要求，但是随着时代的发展，目前污水中污染物的结构发生了巨大的变化，氮磷含量明显超标，不利于其有效去除，AOA模式与传统的AAO工艺相类似，只不过缺氧段放置在后，可以更好的克服传统工艺讲解中对待微生物生态时间的要求，也能弥补传统工艺中碳源不足的缺陷，简化的过程，也能降低能耗，其工艺研究有着重要的意义，能够为市政污水的处理开辟新的思路。

一、传统的脱氮除磷工艺分析

传统的污水处理中，生物脱氮除磷往往存在着硝化菌、聚磷菌等对氧气的竞争，其二级工艺很难处理好脱氮除磷的关系，二级工艺的核心在于除去污水中的氮元素，可以将生物除磷的基础上增加化学除磷的方式，并提升除磷的效果。目前广泛使用的是AAO的脱氮除磷工艺，主要是经过厌氧池，缺氧池，和好氧池等，逐步实

现污染物的去除，并在厌氧区和缺氧区进行有机物的吸收处理，实现厌氧释磷和好氧吸磷的作用。在硝化液回流后，可以去除氮磷化合物。与AAO工艺类似，目前也有UCT工艺，能够改善硝酸盐在磷元素释放中的不良影响，可以回流污泥，将其变成缺氧区，这样硝化液在回流后就不在影响厌氧释磷，但是工艺复杂，需要各类运行和循环设备参与等。

二、AOA 工艺厌氧氨氧化技术的效能分析和应用

(一) 效能分析

基于厌氧氨氧化反应下的脱氮操作，主要是以铵根离子和氧化亚氮离子来进行反应，保证在厌氧环境下有效脱氮，反应的发现拓宽了脱氮的新方向，其中反应使用的主要是厌氧氨氧化菌进行处理，相比较传统的硝化过程，AOA反应模式能够节约耗气量，降低碳源消耗，减少污泥的产量等，目前可以有短程的硝化反应——厌氧氨氧化和短程的反硝化两种途径进行反应。

短程的厌氧氨氧化反应主要是控制好铵根离子的氧化阶段，进行短时间的硝化反应，使用氨氧化细菌等，选择二氧化碳或者碳酸盐等进行碳源反应，在有氧参与的情况下，可以将铵根离子转换成二氧化氮离子。该工艺属于新型的污水脱氮工艺，采用两个污泥回流，第一污泥回流主要用于系统的泥水混合，第二污泥回流主要是增大缺氧区的污泥浓度，加快反硝化的速度，带入二沉池发酵产生的外部碳源进一步提升反硝化效果。具体的反应以以下为准：

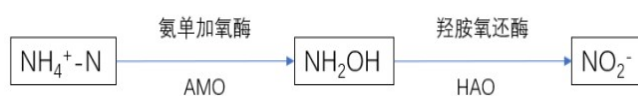


图1 亚硝化转化原理图

在厌氧环境下，可以产生脱氮反应，效果更高，可以以羟胺作为中间产物，以二氧化氮进行反应，相比较传统的硝化反硝化反应，工艺能够节约碳需求，产生的温室气体更少。

厌氧-好氧-缺氧的AOA工艺，是具有较高的效能，另外相比传统的反硝化工艺也有能耗低等优势，具体的布局如图2所示：

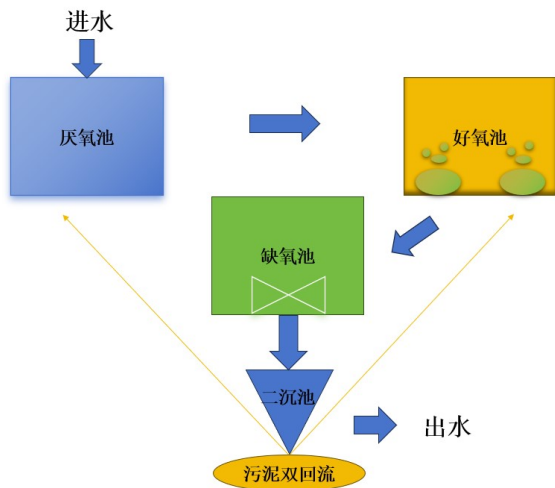


图2 AOA工艺反应流程

其中厌氧区主要是用于糖原的酵解，可以强还原污水中的物质，另外多聚磷酸盐水解后可以释放大量的磷，经过好氧区后可经过PHAs的分解，实现多聚磷酸盐合成，最后在缺氧区将剩余的PHAs物质和糖原物质进行反硝化作业，实现脱氮处理。相对来说厌氧区的PHAs合成能量多来自聚磷的水解作用和糖原酵解，其实现了TCA的有机循环，另外这些物质都可以反复提供给缺氧区并作为碳源，进行反硝化脱氮处理。

AOA的工艺流程下，对碳源进行了保留，其中好氧区域的碳元素能够利用进水的碳源进行反硝化作用，在AOA的流程下，也不需要设置内回流装置，能源的消耗显著降低，控制要求也不再苛刻，通过AOA工艺，也能形成适合不同微生物生长的条件和环境，最终实现较低C/N比的除氮体系，基于AOA下的运行，也能促进好氧菌和厌氧菌的有机生长。

（二）应用

市政进水的水质特点突出，铵根离子的浓度较低，容易导致NOB物质积累，另外，目前的市政用水多使用推流工艺来进行处理，会导致其中的AnAOB物质难以有效富集，短期硝化困难，我们使用AOA工艺进行应用分析，结果发现，AOA工艺下，好氧池的DO在低于0.2mg/L的情况下，AOB的活性会下降，其中NAR的数值会低于70%，与此同时，AOB的活性也不高，需要种泥的活性上升，并有效的抑制好NOB的活性才能保证工艺流程的成功开展。我们本次实验考虑在缺氧区域投放大量AnAOB物质，以去除掉铵根离子，其中DO保证浓度为0.4mg/L左右，这样可以保证TIN的去除量显著提升。

AOA工艺流程下，好氧池中的物质可以实现短程的硝化作用，另外Anammox可以更快的反应，市政污水

下的进水条件更加有效，物质的活性得以显著增强。AnAOB的耦合反应可以促进市政进水条件下的反应，TIN数据更少，但是具体过程中需要对数据反应进行有机量化处理，我们本次的研究中对好氧池的DO数据进行了驯化反应，确定了AnAOB的菌群位置，保证了丰度情况，确保能够提高能效，并且逐步成了未来的研究热点。

三、基于AOA工艺的厌氧氨氧化技术处理市政污水效果的影响因素

（一）循环时间

AOA工艺在污水处理中的应用，通过调整厌氧、好氧和缺氧的时间参数，对系统的稳定运行和污染物的去除效率具有直接影响。调整空间时序将缺氧区后置，可以省去内回流，形成厌氧-好氧-缺氧的生物处理流程，污水处理效率高。较长的循环时间意味着微生物有更多的时间与污水中的磷和氮化合物进行反应，完成微生物对污染物的吸附、转化和降解。厌氧阶段的时间影响着水解酸化的进行、有机物的降解以及PHB（聚羟基丁酸酯）的合成，适当的厌氧时间可以确保进水中的有机物被充分吸收并固定为内碳源，这有助于提高后续阶段的脱氮除磷效率。精确控制好氧时间，好氧时间过长则可能使好氧吸磷过于完全，以至于无法发挥缺氧段的反硝化除磷作用。最后在缺氧阶段的反硝化作用中，即利用硝酸盐氮作为电子受体去除磷，时间的长短会影响反硝化进程的完全程度以及Poly-P（聚磷酸盐）的释放。研究表明，通过优化缺氧时间，TN（总氮）和TP（总磷）的去除率可以分别实现99.42%和100%，显示了在短程反硝化工艺中，能够完成低C/N条件下的深度脱氮除磷能力。Liu等人也在研究中提到，AOA工艺中，不同种类的微生物承担着不同的任务，适宜的循环时间有助于富集重要功能的微生物，当循环时间设置为6小时，AOA工艺展现出了优异的性能，TN（总氮）、TP（总磷）和COD（化学需氧量）的去除率分别达到96.32%、94.33%和96.81%，这一研究结论充分说明了合理调整循环时间和水力停留时间对于提升AOA工艺处理效率的重要性。

因此，循环时间的分配应确保各个阶段的运行效果达到最优，从而提高整体的脱氮除磷效果。此外，循环时间也会影响到AOA工艺中活性污泥的性能，而活性污泥中的微生物是污水处理的关键，其数量和活性直接影响到处理效果，适当的循环时间有助于维持活性污泥的稳定性和活性，从而确保除磷过程的顺利进行。

（二）系统运行温度

温度在活性污泥处理工艺中，直接关系到微生物的代谢稳定性和生物酶的活性，影响污水中溶解氧的含量、有机物的降解速率以及磷的释放和吸收等过程。温度对微生物的生长和代谢有着直接的影响，过高或过低的温度都会导致系统优势菌群的变化，进而影响污泥的性能和反硝化除磷的效果。过高的温度会影响蛋白质的活性，使得生化反应受到抑制；而低温条件下，会限制微生物的活性，例如在低温（10℃）状态下污水的处理速率会明显下降。因为低温会限制微生物的活性。当温度为10℃时，AOA处理工艺中的磷去除率为78%，而反硝化率仅为66%，随着温度的升高，磷的去除率变化相对稳定，而反硝化速率则逐渐升高。他提出，在实际应用中，应根据当地的气候条件和进水水质特点，合理调整系统运行温度，以实现最佳的氮磷去除效果。

此外，在AOA系统中，不同温度下，PAOs（聚磷菌）、DPB（反硝化聚磷菌）和GAOs（聚糖菌）等微生物对基质的作用显著不同，一般来说适宜的温度范围在20℃~30℃之间，微生物在系统中的生长和代谢过程可以正常进行。在低温条件下，PAOs在竞争中可能占据优势，过高的温度会抑制其增殖，而GAOs在较高温度下更容易大量繁殖，消耗大量的碳源和能源，从而影响到PAOs等除磷微生物的正常功能。此外，高温还可能加速某些化学反应的速率，导致一些中间产物的积累，进而影响到反硝化和除磷的效果。因此，在高温条件下，也需要合理控制系统的温度，避免过高温度对微生物和处理效果造成不利影响。

（三）pH值

在AOA系统中，反硝化作用是将硝酸盐还原为氮气，而除磷作用则是通过微生物的代谢活动将磷从污水中去除，这两个过程都受到pH值的显著影响。pH值不适宜可能会导致反硝化速率降低、除磷效果不佳等问题。例如，在微生物的代谢过程中，在不同的pH值条件下，微生物可能会选择不同的代谢途径来进行反硝化和除磷，导致不同的反应速率和产物生成，进而影响到整个系统的处理效果。厌氧氨氧化过程中，参与反硝化和除磷的微生物对pH值的变化非常敏感，如果pH值过高或过低，都可能抑制微生物的活性，降低它们的代谢能力，从而影响到反硝化和除磷的速率和效率。此外，pH值还会影响到反应物的溶解度和离子的形态，从而影响到反硝化和除磷的反应速率。例如，当pH值较低时，某些反应物的溶解度可能会降低，导致反应速率减慢；而当pH

值较高时，某些离子可能会转化为不同的形态，影响到它们与微生物之间的相互作用。在一定范围内提高pH值可以增强聚磷污泥的释磷能力，从而提高磷的去除率，具体来说，当pH值达到8.0时，厌氧释磷能力最强，当pH值低于8.0或者超过8.0都会导致释磷能力下降。

（三）碳源值

碳源对AOA（自养氨氧化）工艺反硝化除磷效果有着重要的影响。在AOA系统中，碳源作为有机物质的提供者，可以促进AOA菌群的生长和代谢活动。通过增加碳源的供应，可以提高AOA菌群的数量和活性，从而加速反硝化过程的进行。适当的碳源供应还可以调节AOA菌群的代谢途径，促使其更多地将硝酸盐还原为氮气而非氮气化合物，从而减少硝化过程中的氮流失，进而增强了反硝化除磷效果。有研究指出，丁酸、乙酸等物质形成的短链脂肪酸更有利于PAOs的合成，如果将乙酸钠作为碳源，则会导致系统中的PAOs等大量繁殖，从而形成种群优势，不利于磷元素的去除，另外碳源的种类也涵盖了对基质的竞争关系，在厌氧的状态下，不释放磷，所以很难合成PHB，碳源种类也与厌氧阶段的有机物的竞争密切相关，如果将丙酸钠作为碳源，则厌氧释放磷元素会更加完全，结合AOA系统中，碳源对于污泥的上清液处理效果高达95%，完全满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》的相关要求。

四、结论

本研究旨在探索基于AOA（氨氧化古菌自养生物膜）工艺在处理市政污水中厌氧氨氧化过程中的效果及其潜在应用，AOA工艺能够高效地将氨氧化古菌引入污水处理系统，并在厌氧条件下实现氨氧化反应，从而有效地去除氨氮。这为城市污水处理提供了一种新的技术途径，尤其在需要高效去除氨氮的场景下具有重要意义。AOA过程无须外源供氧，能够在厌氧环境下运行，节约了能耗成本，并减少了氧气耗用。此外，AOA工艺对于氨氮的去除效率高，在重视其影响因素的前提下，具有潜在的应用前景和经济效益。

参考文献

- [1] 姚晓琰, 李凌云, 薛晓飞, 等. 污泥双回流-AOA中试系统处理低C/N城镇污水的脱氮除磷性能[J]. 环境工程学报, 2023, 17(08): 2524-2533.
- [2] 梁宁泊. 非线性观测增强的异构极化敏感阵列AOA估计研究[D]. 北京邮电大学, 2023.
- [3] 徐玲娜. 连续流AOA工艺优化调控与深度脱氮除磷特性研究[D]. 青岛大学, 2023.