

# 工业废水处理中厌氧生物技术的应用研究

王震甲 李子腾 严少刚 中海油节能环保服务有限公司

**【摘要】**随着工业的发展，工业废水排放问题日益凸显，传统的处理方法已经不能满足需求。厌氧生物技术作为一种新型的废水处理方法，具有许多优势，包括高效处理能力和节约能源等。然而，在实际应用中仍存在一些需要解决的问题。基于此，旨在通过对厌氧生物技术在工业废水处理中的应用研究，以为工业废水处理提供科学依据和技术支持。

**【关键词】**工业废水；厌氧生物；废水处理

**【DOI】**10.12316/j.issn.1674-0831.2023.22.019

## 引言

工业废水对环境造成严重污染，传统的废水处理方法存在着效果不佳和能源消耗高等问题。相比之下，厌氧生物技术作为一种新型的废水处理方法，具有显著优势。厌氧生物技术处理工业废水能够有效降解有机物质，减少对环境的影响，而且能够产生可再生的能源。

## 一、厌氧生物处理工业废水的优势

厌氧生物处理能够处理高浓度、高毒性的废水。在某些情况下，工业废水中含有高浓度的有机化合物或毒性物质，这对于传统的好氧处理系统来说可能是一个挑战。然而，厌氧环境下的微生物群体具有更强的耐受性和适应性，能够有效降解这些有机污染物，并且也能很好的去除毒性物质。因此，厌氧生物处理可以应对更加复杂和难处理的工业废水。同时，厌氧生物处理具有较低的能耗和化学药剂投入。相比于好氧处理系统，厌氧处理不需要供氧设备和能耗高的机械设备，从而减少了能源消耗和运行成本。此外，厌氧生物处理过程中通常不需要大量的化学药剂，只需进行适当的微生物调控和调节条件，能够降低处理成本，减少对环境的二次污染，并且厌氧生物处理可以产生有价值的产物。在厌氧处理过程中，微生物会将有机废水降解为甲烷等可燃性气体，同时还可以产生有机肥、颗粒污泥等有益副产物，可作能源或肥料，实现资源的再利用，提高废水处理系统的可持续性。另外，厌氧生物处理适应的温度范围和pH条件较宽泛，相比于好氧处理系统，厌氧环境下的微生物具有更强的耐受性，能够在低温、高温以及酸性、碱性条件下工作，这使得厌氧生物处理在不同行业 and 不同地理区域都具有广泛的适用性和稳定性。最后，厌氧生物处理有助于减少温室气体排放。厌氧处理过程中产生的甲烷可以作为可再生能源，比如发电或加热供暖，从而减少对传统化石燃料的依赖及温室气体的排放，这有助于促进可持续发展和应对气候变化。

## 二、影响厌氧生物处理工业废水效果的主要原因

### 1. 温度

一般而言，温度升高会促进厌氧生物代谢活动和产气速率，从而加快废水处理效果。具体来说，第一，温度升高会提高厌氧生物的代谢速率和反应速度，加快有机物的降解过程。随着温度的升高，酶活性增强，微生物的生长和繁殖速度加快，有机废水中的有害物质被更迅速地分解和降解。第二，在厌氧条件下，温度的升高会加速厌氧菌的酸化反应速率。酸化过程可以将废水中的有机物转化为有机酸，为后续的甲烷发酵提供碳源，较高的温度可提高酸化反应速度，缩短废水在酸化阶段的滞留时间，从而增加系统的处理能力。第三，温度对厌氧生物产生的气体产量也有影响。通常，随着温度上升，厌氧消化过程中产生的沼气产量增加。这是因为温度越高，微生物代谢速率越快，沼气产生的速率也相应提高。第四，温度对厌氧菌的适应性有一定要求。不同种类的厌氧菌对于温度的适应能力不同，选择合适的厌氧菌种和调整适宜的运行温度可以提高废水处理效果。

### 2. pH值

不同种类的厌氧菌对于pH值的适应范围有所不同，通常在5.5~8.5之间较为适宜，过高或过低的pH值会抑制微生物的生长和活性，导致废水处理效果下降。同时，pH值对厌氧消化过程中产气速率也有重要影响。在适宜的pH范围内，厌氧菌可以正常进行甲烷发酵，产生大量沼气。当pH值偏离适宜范围，如过酸或过碱，厌氧菌的活性受到抑制，产气速率减慢，降低了废水处理效果。并且，适宜的pH值可以提供良好的微生物生长环境，促进厌氧菌的繁殖和代谢活动。而过高或过低的pH值可能导致微生物种群失衡，抑制有益菌的生长，进而影响系统的稳定性和废水处理效果。此外，pH值的调节也与废水处理中酸碱物质的中和有关。有机废水中常含有酸性或碱性物质，调节pH值可以使废水中的酸碱物质达到

适宜范围，减少对厌氧菌的毒性影响，提高处理效果。

### 3.其他原因

除了温度和pH值外，较高的底物浓度可以提供更多的有机物供厌氧菌降解，从而提升废水处理效果。然而，过高的底物浓度可能导致反应环境的无氧状态破坏，产生副产物或中间产物，影响系统稳定性。同时，厌氧生物需要无氧环境才能正常运行，因此，溶解氧的存在会抑制厌氧反应。过高的氧浓度会促进好氧菌的生长，竞争厌氧菌的底物和生存空间，降低处理效果，因此，在厌氧生物处理过程中，需要采取措施保持适宜低溶解氧水平，如适当搅拌、限制进气等。此外，废水中可能存在有毒物质，如重金属、有机溶剂、抗生素等，其对厌氧菌具有抑制或杀灭作用。毒性物质的存在会导致微生物群落遭受损害，降低废水处理效果。

## 三、厌氧生物技术在工业废水处理中的有效应用

### 1.前期准备环节

进水预处理是工业废水处理过程的关键步骤之一，它旨在去除废水中的大颗粒悬浮物和沉积物，以减少后续处理单元的负担并提高处理效果。具体来说，首先废水经过管道输送至进水预处理系统。根据具体的处理要求和污染物特性，选择合适的预处理设备。筛网是常用的初级固液分离设备之一。在进水预处理系统中，可以采用不同型号的筛网，如静态筛、旋流筛或旋转筛，这些筛网通常由微孔或细孔网片组成，可以有效过滤掉废水中较大的颗粒物质。例如，选用孔径为2mm的旋流筛，能够去除较小粒径的固体颗粒，确保进入后续处理单元的废水相对清洁。在筛网处理后，还可能需要进行进一步处理含有较高悬浮物浓度的废水，此时可以引入沉砂池进行深度沉降，沉砂池通常由一个封闭的混凝池和一个沉淀池组成，废水首先进入混凝池，接受混凝剂的投加，常见的混凝剂有聚合氯化铝、聚合硫酸铁等。混凝剂通过中和与絮凝作用，能够使悬浊物凝聚形成较大的颗粒，并带负电荷的混凝体因静电吸引而迅速沉降。在混凝过程中，也可辅助采用快速搅拌设备加速混凝剂的混合与反应。随后，废水流入沉淀池，在此处进行沉降，沉淀池内设置一定的停留时间，使得颗粒物得到更充分的沉降和分离。沉淀池通常为长方形或圆形，具备一定的水力剪切力以避免沉淀物重新悬浮。根据实验数据和设计规范，确定沉淀池的尺寸参数。例如，处理规模为 $100\text{m}^3/\text{h}$ 的废水流量，根据悬浮物沉降速度等参数，设计沉淀池的有效面积可能为 $10\text{m}^2$ ，并根据实际需要进行调整。

## 2.废水处理环节

### (1) 污水进入厌氧池

厌氧池通常采用封闭式反应器，以确保处理过程中的无氧环境。反应器的尺寸和型号可以根据实际处理需求进行选择。例如，一个常见的厌氧池反应器容积可以达到 $100\text{m}^3$ 。在厌氧池内，还要设立搅拌装置以维持废水的均匀混合和微生物的留存，废水经过预处理后，进入厌氧池与厌氧微生物接触。厌氧微生物通常是一种厌氧呼吸的微生物群体，可以分解废水中的有机物质并将其转化为可溶性有机物和气体产物，这些厌氧微生物主要包括厌氧细菌和厌氧真菌等。它们通过不同的代谢途径，利用有机物质作为电子供体进行能量代谢，产生甲烷、二氧化碳等气体。例如，厌氧酸化甲烷菌能够将有机物质降解为乙酸，而厌氧乙酸菌可将乙酸进一步转化为甲烷和二氧化碳，为了保证良好的微生物活性和废水处理效果，需要将这些因素控制在适宜范围内。例如，通常厌氧池的温度应控制在 $25\sim 35^\circ\text{C}$ 范围内，以促进微生物代谢的活跃度，在厌氧池中，除了有机物质的降解外，营养物质的循环也很重要。废水中的氮和磷等营养物质可以通过微生物的吸收和释放来进行循环利用。例如，厌氧条件下的硝化反硝化过程可以使废水中的氮转化为气体产物（如氮气），从而实现氮的去除。厌氧池内还可引入磷的生物释放过程，通过微生物的代谢作用，将废水中的磷释放到液相中，以便后续处理单元的进一步去除。经过在厌氧池内的降解和转化，废水中的有机物质得到进一步消化，同时产生的甲烷、二氧化碳等气体可以进行回收利用，减少了有机物的排放和环境污染，提高了经济效益和环境效益。

### (2) 混合和搅拌

在厌氧池中选择适合的混合和搅拌设备。常见的设备包括搅拌机、搅拌器及气体喇叭等。其中，搅拌机是最常用的设备之一。搅拌机通常由电动机、传动装置和搅拌叶片组成，可通过旋转搅拌叶片将废水进行混合和搅拌，其功率和转速是设备选择的重要参数，通常根据厌氧池的尺寸和废水特性进行确定。例如，一个 $100\text{m}^3$ 的厌氧池需要一台功率为 $5\text{kW}$ 、转速为 $150\text{r}/\text{min}$ 的搅拌机。搅拌器的位置和数量应根据厌氧池的结构和尺寸进行合理配置，通常在厌氧池内设置多个搅拌器，以保证整个废水体系的均匀混合。搅拌器的位置选择应考虑废水的进出口位置、气体的排放和溶解等因素。例如，厌氧池可以采用中心进出口的结构，同时在底部设立多个搅拌器，以实现多个方向的搅拌效果。此外，搅拌时间和频

率的控制对微生物的生长和废水的混合有着重要影响, 搅拌时间可以根据废水特性和厌氧池的工作要求进行合理调节。通常, 每天的搅拌时间可设定为8~12h。搅拌频率与搅拌器的转速和功率相关, 可以根据实际情况做出调整。除了普通的混合与搅拌设备, 还可以引入气体喇叭来提高废水的混合效果, 通过从底部喷射气体, 形成气液混合效果, 促进微生物与废水的混合, 选择和配置也应根据厌氧池的尺寸和废水负荷进行合理设计。

### (3) 污泥处理

污泥回收系统通常包括一个污泥储存罐和一个回流装置。污泥储存罐用于暂时储存产生的活性污泥, 通常为 $100\text{m}^3$ 。污泥回流装置可以通过管道连接厌氧池和污泥储存罐, 以便将一部分活性污泥回流至池中。回流装置通常由泵和管道组成, 泵的型号和流量可以根据实际需求选择, 例如, 使用一台型号为X-123的泵, 其流量为 $500\text{L/h}$ 。回流率通常根据池的设计和操作要求确定, 通常设定为每天10%的污泥回流率。污泥处理主要包括沉淀、脱水和消化等步骤。沉淀是将污泥在静置条件下进行固液分离的过程, 重力沉淀池是一种常用的沉淀设备, 其尺寸可以根据污泥产生量进行设计, 例如, 一个直径为3m、高度为4m的沉淀池, 在沉淀过程中, 污泥中的固体颗粒会逐渐沉降到池底形成污泥层, 而清水则从上部流出。脱水是将沉淀后的污泥进行进一步脱水处理, 以减少其含水量和体积, 常用的脱水设备包括滤料压榨机和离心机等。例如, 可以使用型号为Y-456的滤料压榨机, 其处理能力为 $100\text{kg/h}$ , 可将污泥的含水量降低到50%以下。脱水后的污泥称为脱水污泥, 可用于堆肥、焚烧或其他处理方式。消化是利用微生物将有机物进一步降解的过程, 通常在消化过程中引入厌氧消化池或好氧消化池, 厌氧消化池可以创造适宜的厌氧条件, 例如, 恒温、搅拌和适宜的反应时间, 以促进污泥中的微生物降解有机物, 产生沼气等。常见的厌氧消化池的体积为 $50\text{m}^3$ , 温度维持在 $35^\circ\text{C}$ , 每天处理的污泥量为1t。

### 3. 出水环节

经厌氧处理后的废水进入后续的处理单元, 通过好氧生物技术或其他物理化学处理方法, 进一步去除污染物和提高水质。为此, 利用微生物在富氧条件下降解有机物和氮磷等污染物。这种方法通常包括活性污泥法或固定膜生物反应器(MBR)等。活性污泥法主要由好氧池、混合污泥、曝气装置等组成。其中, 好氧池可以采用容量为 $1000\text{m}^3$ 的圆形池, 内部的混合污泥通过搅拌装置保持悬浮状态。曝气装置一般采用增氧机, 如型号为

A-123的增氧机, 其供氧能力为 $10\text{kgO}_2/\text{h}$ 。通过提供充足的氧气和适宜的温度条件(通常维持在 $25^\circ\text{C}$ ), 微生物可以有效降解废水中的有机物和氮磷等污染物。而MBR是一种膜分离技术与好氧生物反应器相结合的处理系统, 能够有效地去除悬浮物、细菌和病毒等。例如, 可以采用型号为X-456的膜组件, 其通量为 $20\text{m}^3/\text{d}$ , 用于过滤出水中的固体颗粒和微生物。除了好氧生物处理外, 还可以采用物理化学处理方法来提高水质。之后, 通过添加混凝剂, 如铁盐或聚合物, 使废水中的悬浮物和胶体颗粒凝聚成较大的颗粒, 然后经过沉淀过程将其分离出来。例如, 可以采用型号为Y-789的混凝剂投加装置, 其投加速率为 $1000\text{mL}/\text{min}$ 。最后, 利用活性炭对废水中的有机物进行吸附, 达到去除有机污染物的目的。活性炭吸附罐的设计容量可以根据处理量来确定, 例如, 选择一个容量为 $5\text{m}^3$ 的活性炭吸附罐。此外, 除了好氧生物处理和物理化学处理, 还可以采用其他方法对废水进行处理, 如高级氧化技术、膜分离技术等, 这些方法可以根据实际需要进行选用和组合。

### 四、结束语

通过对厌氧生物技术在工业废水处理中的应用研究, 可以得出以下结论: 厌氧生物技术是一种高效可行的工业废水处理方法。厌氧生物处理工业废水具有许多优势, 比如能够处理高浓度有机废水、节约能源和减少二氧化碳排放等。在实际的应用中, 影响厌氧生物处理效果的主要原因包括温度、pH值和其他因素。因此, 在实际处理工业废水的过程中, 需要在前期准备环节、废水处理环节和出水环节进行综合考虑和优化。通过有效合理的利用, 相信厌氧生物技术在工业废水处理中具有更广阔的应用前景, 并且值得进一步深入研究和推广应用。

### 参考文献:

- [1]陈超, 高文郑, 熊文浩.工业废水处理中厌氧生物技术的应用[J].工程技术研究, 2023, 8(11):217-219.
- [2]陈蔚和.工业废水处理中厌氧生物技术的应用分析[J].皮革制作与环保科技, 2022, 3(23):8-10.
- [3]孙桂强, 王克垒.厌氧生物技术在工业废水处理中的应用分析[J].皮革制作与环保科技, 2022, 3(09):26-28.
- [4]刘磊.工业废水处理中厌氧生物技术应用研究[J].资源节约与环保, 2019(08):83.
- [5]雍田景.厌氧生物技术应用用于工业废水处理中的研究[J].生物化工, 2019, 5(03):158-160.

作者简介: 王震甲(1984—), 男, 汉族, 河南滑县人, 本科, 工程师, 研究方向: 机电系统节能、环保工程。