

环境工程污水处理技术分析

贺强

深圳市深水水务咨询有限公司

摘要:为解决环境工程存在的污染问题,提高污水处理效率,本人结合具体案例,主要对环境工程污水处理技术应用进行分析研究,通过对污水处理重要性的阐述,结合相关案例,对具体所应用到的处理技术应用进行概况总结,包括生物膜法、活性污泥法、生物曝气过滤、磁混凝沉淀技术、厌氧生物处理技术、离子交换、光催化和光电催化技术以及吸附技术,以期为相关人员提供参考。

关键词:环境工程;污水处理;技术分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.113

引言:随着工业化和城市化进程的加速,水资源污染已成为全球面临的严峻环境问题之一,污水处理技术作为解决水污染问题的关键手段,在环境工程领域发挥着至关重要的作用,有效的污水处理不仅能够减轻对自然水体的污染负担,还有助于保护公共健康、促进生态平衡,甚至实现水资源的再利用,并且随着科技的不断进步和环保意识增强,污水处理正逐渐转向更加高效、节能、环保的新型技术,以此减少其污染性。

一、污水处理在环境工程中的重要性

污水处理在环境工程中具有至关重要的地位,随着人类活动的增加和城市化进程的加速,污水排放量不断增加,直接影响着水体质量和生态环境的稳定性,未经处理的污水含有各种有机和无机物质,如重金属、有机物和微生物等,对水体生态系统和人类健康造成严重威胁,因此有效的污水处理技术不仅可以净化水体,还能有效防止水污染对环境和人类健康造成的危害,同时环境工程中的污水处理技术也为可持续发展提供了重要支撑,通过回收利用水资源和能量,促进资源循环利用和生态环境保护,因此深入研究污水处理技术及其在环境工程中的应用具有重要意义,有助于解决当前和未来的环境问题,实现可持续发展目标^[1]。

二、案例分析

以某市为例,该市位于工业发达地区,其城市污水处理厂面临着日益增长的污水处理需求,为提高处理效率并减少环境影响,该厂于2023年启动了一项生物处理技术升级计划,项目核心是将传统活性污泥法改造为序批式生物反应器(SBR)技术。在改造前污水处理厂的平均化学需氧量(COD)去除率为80%,总氮(TN)去除率为60%,升级后首季度运行数据显示COD去除率提升至

93%,TN去除率提升至87%,大幅度超过预期目标,此外各种技术的应用还减少了污泥产量约15%,由每天30吨降低到25.5吨,显著降低处置成本,不仅提高了污水处理效率,优化了资源循环利用,而且缩短了处理时间,减少能源消耗,整个投资回报周期预计为5年,远远低于行业平均水平。

三、环境工程污水处理的主要技术

(一) 生物膜法

生物膜法是一种高效的生物处理技术,依靠微生物生长形成的生物膜来去除污水中的有机物和营养盐,其核心在于微生物的附着与生长,形成稳定的生物膜,能够提供大量的微生物表面积,从而加速污水中污染物的生物分解过程。具体去除过程如图1所示:

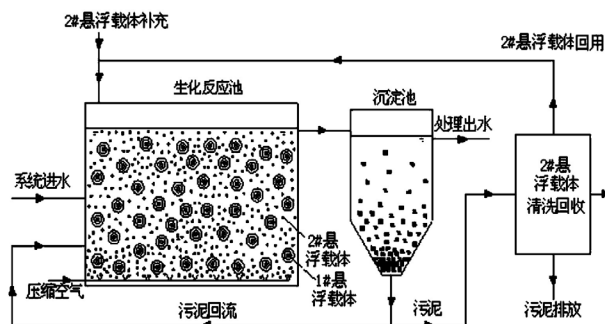


图1 生物膜法系统操作示意图

生物膜系统通常包括生物滤池、旋转生物接触器(RBC)、流化床生物反应器等,以流化床生物反应器为例,其工作原理是将填料作为微生物生长的基质,填料在反应器中随水流动,形成良好的流化状态,微生物在填料表面形成生物膜,在污水通过时分解有机物,流化床反应器可为微生物提供高达3000-4000m²/m³的比表面积,相较于传统活性污泥法提供了更高的空间利用率和处理效率。此外生物膜法在去除特定污染物方面也显示出优势,例如在氮去除方面,通过调控生物膜反应器内的溶解氧浓度,可以有效促进硝化菌和反硝化菌的同步生长,实现硝化作用及随后的反硝化作用,根据相关数据显示,使用生物膜法进行硝化和反硝化处理的污水厂,在保持溶解氧在1.5-2mg/L的条件下,总氮去除率可达到80%以上,此外对于生物膜的构建和维护,关键因素包括生物膜的厚度、微生物群落结构、以及生物膜与污水中污染物的接触时间,由于生物膜的厚度会影响氧气的扩散和底物的渗透,因此需要通过周期性的剪

切力或者物理冲洗来控制生物膜的厚度，以避免过厚的生物膜导致内部缺氧和功能微生物的丢失^[2]。

(二) 活性污泥法

活性污泥法主要用于去除污水中的有机物和营养物质，如氮和磷，该方法依赖于混合液悬浮固体（MLSS）即活性污泥中的微生物群落来降解污水中的污染物，在曝气池中，通过不断搅拌并供应空气或纯氧，以保持良好的溶解氧水平（通常2-4mg/L），为微生物代谢提供必要条件。具体实施时首先将经过初级处理（如格栅、沉淀等步骤）后的污水引入曝气池，将污水与活性污泥混合，然后通过增加氧气来促进细菌生长和污染物的生物降解，之后混合液流入二级沉淀池，分离出清水和污泥，清水排放或被进一步处理以再利用，而污泥中的一部分返回到曝气池维持生物量，其余则作为剩余污泥进行处理。

此外活性污泥法的效率受多种因素影响，包括温度、pH值、曝气时间和溶解氧浓度，以本案例中污水处理厂为例，其标准操作条件下的关键参数如表1所示：

表1 活性污泥法关键参数表

参数	操作范围	观测数据（实例）
MLSS (mg/L)	2500-3500	3000
溶解量 (DO) (mg/L)	2-4	3.2
pH 值	6.5-8.5	7.4
曝气时间 (h)	4-6	5
BOD 去除率 (%)	85-95	91
COD 去除率 (%)	80-90	88
总氮去除率 (%)	70-80	76

从该表格可以看出，该处理厂的活性污泥系统运行良好，达到常规的污水处理标准，BOD（生化需氧量）和COD（化学需氧量）的去除率较高，说明有机物质得到有效降解，总氮和总磷的去除率符合大多数地区排放标准，但仍有提升空间，例如可以通过优化曝气策略或使用特定的微生物群落来进一步提高这些参数。

(三) 生物曝气过滤技术

生物曝气过滤技术主要通过微生物在水流中的生物膜上降解污染物质，该技术结合了生物膜和曝气系统，有效去除污水中的有机污染物和氮化物，在此之前需要构建生物膜，污水首先流过特制的填充材料，这些材料表面附着微生物形成生物膜，之后通过曝气装置向生物滤池中持续供氧，确保微生物的代谢活动，在氧气的帮助下，生物膜上的微生物将污水中的有机物质和氮化物分解转化。在处理不同类型污水时其生物曝气技术有着不同的效率，具体内容如表2所示：

表2 生物曝气过滤技术在处理不同类型污水时的效率对比表

污水类型	COD 去除率 (%)	氨氮去除率 (%)	处理时间 (h)
生活污水	85	78	24
工业污水	75	69	30
养殖业污水	80	85	36

从表格可以看出，该技术在生活污水的处理效率最高，表明生物曝气过滤技术对于低浓度有机物的去除特别有效，在工业污水中由于含有较高浓度的有机化合物和可能的有毒物质，其COD和氨氮的去除率相对较低，在养殖业污水中氨氮的去除效率尤为显著，与养殖污水中氨氮含量高有关。

(四) 磁混凝沉淀技术

磁混凝沉淀技术是一种先进的污水处理技术，它结合了传统的化学混凝和磁分离技术，有效提高污水处理效率和处理质量，该技术主要应用于含有悬浮颗粒和溶解污染物的工业及城市污水处理中。在磁混凝沉淀过程中，首先向污水中加入磁性混凝剂，这些混凝剂通常是由铁或铝的盐类制成，它们在水中迅速水解，生成带正电的金属离子和羟基，这些正电离子与污水中的负电悬浮颗粒反应，形成较大的絮状物，随后通过加入磁性粉末（如氧化铁磁粉），使絮状物具备磁性，接下来的步骤是应用磁力将带磁性的絮状物从水中分离出来，通常这一步骤使用磁性分离器实现，它可以快速且有效地从处理过的水中移除磁性絮团，这种分离过程的效率极高，可以显著减少后续处理步骤的负担，以本次项目为例，使用磁混凝技术后，污水中的悬浮固体去除率可以达到90%以上，而化学需氧量（COD）的去除效率可以提高20%-30%，且该技术对重金属和某些有机污染物也显示出良好的去除效果，同时磁混凝沉淀技术还具有操作简便、处理速度快、对设备要求低等优点，可以有效地减少化学药品的使用量，降低处理成本，并减少污泥的产量和处理难度^[3]。

(五) 厌氧消化技术

厌氧消化技术通过微生物在无氧条件下的代谢活动，将污水中的有机物分解转化为甲烷和二氧化碳，该过程大致可以分为四个阶段，分为水解、酸化、产酸及甲烷生成，各阶段均由不同类群的微生物群落进行控制，采用高温厌氧消化方法，该方法一般在高温（49-57℃）环境下进行，可加速废水中复杂有机物的分解，提高甲烷产量，在55℃下处理乳品工业废水时，去除率可达90%以上，且每升处理容积每天可产生0.5-1.5升的甲烷，对于上流式厌氧污泥床的应用，其UASB反应器是一种常见设备，特点是通过上流式设计促进污水与污泥接触，增强处理效能，一般UASB处理食品工业废水时，

有机去除率通常可达70-90%，同时可回收60-80%的能量作为生物气体^[4]。

（六）离子交换技术

此技术利用离子交换树脂的选择性吸附能力，以实现水中离子的替换和去除，离子交换树脂是一种功能化的高分子复合材料，能够在其结构中可逆地交换特定离子，这些树脂分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂两大类，阳离子树脂可以替换水中的阳离子（如铅、铜等重金属离子），而阴离子树脂则用于替换如硝酸盐、磷酸盐等阴离子。在实际应用中，离子交换过程通常包括三个步骤，分别为树脂的再生、污水处理和树脂的再生，以去除铜离子为例，首先将含铜污水通过装有阳离子交换树脂的柱体，铜离子与树脂中的钠离子发生交换，树脂吸附铜离子后，钠离子被释放到水中，当树脂的交换容量达到饱和后，需要通过再生剂（如盐酸或硫酸）对树脂进行再生，将吸附的铜离子置换出来，恢复树脂的交换能力。

在工业应用中，离子交换技术具有高效、经济和环保的优点，例如处理含有100ppm铜离子的污水，使用离子交换技术后，水中铜离子的浓度可以降低到0.5ppm以下，满足大多数排放标准，此外交换过程中所使用的树脂可以重复使用，降低了处理成本，尽管离子交换技术在污水处理方面具有明显的优势，但也存在一些局限性，例如当污水中含有大量的悬浮物或有机物时，会对树脂的有效性造成影响，对于超高浓度的重金属污水，离子交换可需要与其他技术如化学沉淀配合使用，以达到更高的处理效果。

（七）光催化和光电催化技术

光催化是利用半导体材料在光照下产生电子（e⁻）和空穴（h⁺）对，通过氧化还原反应分解污水中有害化学物质的技术，其中钛白粉（TiO₂）是最常用的光催化剂，因其稳定性高、成本低且效率相对较好而被广泛采用，比如在紫外光的激发下，使用TiO₂作为光催化剂可以将含色素的废水中的色度在2小时内降低70%以上。而光电催化技术结合了光催化和电化学两种方法，在此技术中不仅利用光能产生电荷载体来促进反应，还通过外加电场控制电子和空穴的迁移，从而提高催化效率，在一项对染料废水处理的研究中，光电催化系统显示出比传统光催化更快的染料脱色速率和更高的总有机碳（TOC）去除率，该研究中使用的ZnO/CdS复合纳米杆阵列，在1.5小时光电催化过程中，染料去除率达到95%，TOC的减少率超过60%。

以某实验为例，该实验将光催化剂均匀分散在污水样品中，并在光照条件下进行搅拌以确保光能有效到达

反应界面，光源可为紫外灯或者可见光灯，取决于所使用催化剂的光响应范围，测量数据时通常会考察反应前后有机污染物的浓度变化，如通过高效液相色谱（HPLC）来监测特定化合物的浓度，或者通过总有机碳分析器来评估污水中的总有机负荷减少情况，根据初步处理结果表明，使用光催化和光电催化技术处理污水有效，尤其是在处理难降解的有机物和染料方面。

（八）吸附技术

吸附是一种物理化学过程，通过该过程污染物从液相转移到固相吸附剂表面，一种常见的吸附剂是活性炭，其具有多孔结构和较大的表面积，使其能有效吸附各种有机化合物和某些无机物，例如使用粒状活性炭处理含苯的废水，可以达到90%以上的去除率，操作条件如pH值、接触时间和吸附剂剂量对吸附效果有显著影响，在pH 7的条件下，100克活性炭处理1小时可以减少水中苯的浓度从10ppm降至不足0.1ppm。除了活性炭，沸石、黏土、生物炭等也是常用的吸附材料，这些材料因其特殊的物理化学性质，如离子交换容量和特定表面功能团，而被选用于特定类型的污染物处理，例如沸石因其对重金属离子如铅和镉有较高的亲和力，常用于这些重金属的去除，此外近年来纳米材料由于其超高的比表面积和更强的靶向吸附性能，也开始在水处理中发挥作用，例如使用纳米零价铁处理含铬（VI）的废水，可以在30分钟内实现95%以上的去除效率，处理后水中铬的浓度可从5ppm降至0.25ppm以下。

结语：综上所述，在环境工程领域，污水处理技术的发展和应用于维护生态平衡、保护公共健康以及确保可持续发展具有无可比拟的重要性，随着技术的发展，从传统活性污泥法到创新的膜技术，每一种技术都在不断进步，应对着日益严峻的环境挑战，对于污水处理要求不仅将追求去除效率更高、运行成本更低的目标，强调系统的智能化、资源的回收利用以及对自然生态影响的最小化，注重与环境的和谐共存，最终提升环境质量。

参考文献

- [1] 刘志奇. 环境工程水处理中超滤膜技术的应用探讨[J]. 工程技术研究, 2024, 6(6).
- [2] 闵建锋. 生态城市建设中环境工程技术的运用分析[J]. 工程建设与设计, 2024, (03): 115-117.
- [3] 许智程. 膜法污水处理技术的绿色低碳化发展思考[J]. 当代化工研究, 2024, (03): 83-85.
- [4] 戴立, 黄胜. 环境工程水处理中超滤膜技术的运用方法分析[J]. 资源与环保进展, 2024, 2(1).