



生物脱氮除磷技术的现状与发展

四川机场集团有限公司园林绿化公司 成都 韩涛 610202

摘 要 本文介绍了污水生物脱氮除磷工艺的发展,通过对现有的生物脱氮除磷传统工艺和新近发展工艺的介绍和分析,指出经济、高效、低能耗是其发展的方向。同时认为今后应加强对生物脱氮除磷机理更深入的研究,大力开发技术成熟、高效经济又符合我国国情的新工艺。

关键词 生物脱氮除磷 A_2/O UCT 氧化沟 SBR

1、引言

近年来,随着工农业生产的高速发展和人们生活水平的不断提高,水体富营养化问题日趋严重,而氮、磷是引起水体富营养化的主要因素。随着公众环境意识的提高和国内外对氮、磷排放的限制标准越来越严格,研究开发经济、高效的去除氮、磷的污水处理技术已成为水污染控制工程领域的研究重点和热点。本文对现有的生物脱氮除磷工艺进行了系统的介绍和分析,并在此基础上对生物脱氮除磷技术的发展方向做了展望。

2、污水生物脱氮除磷机理

生物脱氮是在好氧条件下通过硝化反应先将氨氮氧化为硝酸盐,再通过缺氧条件下的反硝化反应将硝酸盐还原成气态氮从水中去除。

生物除磷是在厌氧条件下吸收低分子物质,同时将贮存在细胞中的聚合磷酸盐中的磷通过水解而释放出来,提供必需的能量。而在随后的好氧条件下,将所吸收的有机物氧化并提供能量,同时能从污水中过量吸收磷并以聚磷酸盐形式贮存在菌体内形成高磷污泥,通过剩余污泥的排放而达到较好的除磷效果。

3、污水生物脱氮除磷工艺介绍

最初,脱氮和除磷是在不同的处理工艺中实现的,多采用物理化学方法。如采用吹脱法、离子交换法(用沸石去除氨氮)、不连续点氯化处理法等脱氮;采用混凝沉淀法、结晶法等除磷。但传统的物化方法难以达到同时去除氮磷的效果,处理水质单一,并且运行费用较高,而生物脱氮除磷则具有较强的氮磷同步去除率,对进水水质要求不高,对现有处理工艺易于改造等优点。目前应用较多的污水生物脱氮除磷工艺包括 A_2/O 工艺、UCT工艺、氧化沟工艺、SBR工艺等。

3.1 A_2/O 工艺

A_2/O 工艺是前人在对生物脱氮工艺不断研究的基础上发展起来的。1932年Wuhrmann^[1]提出了后置反硝化工艺,为以后的脱氮除磷工艺的发展奠定了基础。60年代,Ludzack和Ettinger提出了前置反硝化工艺^[1]。70年代,Barnard在Ludzack和Ettinger的基础上提出了改良型工艺,即 A/O 工艺,它在进一步的研究中发现当前置反硝化内存在厌氧区时,系统兼有明显的除磷功能。于是他提出了能同时实现脱氮除磷的Phoredox(即五段BardenPho)工艺。取消此工艺的第二级缺氧、好氧池,即为 A_2/O 工艺。此后,脱氮除磷被统一在一个系统中,既简化了污水处理的操作,又增加了处理工艺的功能。其工艺流程如图1所示。

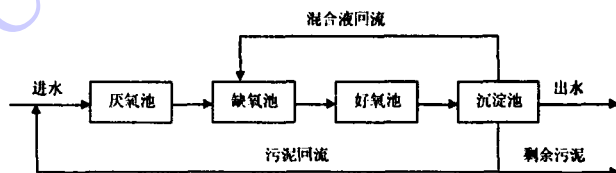


图1 A_2/O 工艺流程图

污水首先进入厌氧池与回流污泥混合,污泥中的好氧微生物在这里处于压抑状态。部分可生物降解的有机物在兼性厌氧发酵细菌的作用下被转化为挥发性脂肪酸类低分子发酵中间产物,聚磷菌吸收这些低分子有机物合成PHB并储存在细胞内,同时将细胞内聚磷分解,所释放的能量可供专性好氧的聚磷菌在厌氧环境下维持生存;随后污水进入缺氧池,反硝化菌利用污水中的有机物和回流混合液中的硝酸盐进行反硝化,达到去碳脱氮的目的;接着污水进入曝气的好氧区,聚磷菌在吸收、利用污水中残剩的可生物降解有机物的同时,主要是通过分解体内储存的PHB释放能量来维持其生长繁殖。同时过量地摄取周围环



境中的溶解磷，并以聚磷的形式在体内储积起来，使出水中溶解磷浓度达到最低。而有机物经厌氧区、缺氧区分别被聚磷菌和反硝化细菌利用后，到达好氧区时浓度已相当低，这有利于自养型硝化菌的生长繁殖，并通过硝化作用将氨氮转化为硝酸盐。从以上分析可以看出 A_2/O 工艺具有同步脱氮除磷的功能。

A_2/O 工艺是在缺氧/好氧工艺前增加设置厌氧区的单级活性污泥脱氮除磷系统。由于厌氧区的设置，充分发挥了厌氧菌群承受高浓度、高有机负荷能力的优势，可促进菌胶团的细菌繁殖并抑制丝状菌在缺氧池和好氧池中繁殖，产生的污泥较一般的生物法少。但 A_2/O 工艺运行过程中也存在一些问题，如剩余污泥中实际上只有一小部分经历了完整的释磷、吸磷过程，其余则基本上未经厌氧状态而直接由缺氧区进入好氧区，这对于除磷是不利的；由于缺氧区位于系统中部，反硝化在碳源分配上居于不利地位，因而影响了系统的脱氮效果；由于厌氧区居前，回流污泥中的硝酸盐对厌氧区产生不利影响。我国同济大学高延耀等^[2]人在 A/O 、 A_2/O 工艺的基础上开发了一些有效的新工艺。例如具有独立脱氮除磷系统的 $A_1/O-A_2/O$ 工艺和 $A_1/A_2/O$ 工艺，时间顺序AAO脱氮除磷新工艺，与常规工艺比较，这些工艺都具有较强的实用性。

A_2/O 工艺是在普通活性污泥法的基础上发展起来的，一般采用推流式活性污泥系统，虽然包括三个生物反应过程，但在推流式活性系统中，污泥是完全混合的，因而也较容易用于生物法处理的老污水厂的改造，比较适合我国的国情。

3.2 UCT工艺及其改进

为了改善 A_2/O 脱氮除磷工艺在进水碳源不足时的处理效果，研究者们进行了大量工艺改进，如改进污泥回流路线或增加反硝化环节，以控制厌氧区回流污泥中的硝酸盐含量。UCT、MUUCT、VIP、JHB等工艺都属于这种思路的产物。

UCT(University of Capetown)工艺是南非开普敦大学开发的一种 A_2/O 改良工艺^[3]。UCT工艺与 A_2/O 工艺的不同之处在于沉淀池污泥是回流到缺氧池而不是回流到厌氧池，这样可以防止由于硝酸盐氮进入厌氧池，破坏厌氧池的厌氧状态而影响系统的除磷效率。并增加了从缺氧池到厌氧池的缺氧池混合液回流，由缺氧池向厌氧池回流的混合

液中含有较多的溶解性BOD，而硝酸盐很少，为厌氧段内所进行的发酵等提供了最优的条件。

为了使进入厌氧池的硝态氮量尽可能少，保证污泥具有良好的沉淀性能(回流比不能太小)，Capetown大学又开发了改良型的UCT工艺MUUCT。在改良型UCT工艺中，缺氧反应池被分为两部分，第一缺氧反应池接纳回流污泥，然后由该反应池将污泥回流至厌氧反应池。硝化混合液回流到第二缺氧反应池，大部分反硝化反应在此区进行。改良型UCT工艺基本解决了UCT工艺所存在的问题，最大限度地消除了向厌氧段回流液中的硝酸盐量对摄磷产生的不利影响，但由于增加了缺氧段向厌氧段的回流，其运行费用较高。

UCT工艺的另一种改进型为VIP工艺，其厌氧、缺氧和好氧三个反应器都是由多个完全混合反应器串联组成。分格方式形成了有机物浓度的梯度分布，提高了厌氧释磷和好氧摄磷的速度。VIP工艺一般在高负荷、低泥龄下运行。反应器总容积小于UCT工艺。

JHB工艺是在 A_2/O 工艺的厌氧区污泥回流线路中增加了一个缺氧池，以减少回流污泥中硝酸盐的含量。但污泥回路上的缺氧区只能以内源代谢物作为反硝化的碳源，反硝化速率很慢，所需容积较大。

3.3 氧化沟工艺

随着新型氧化沟的不断出现，氧化沟技术已经远远地超出早先的实践范围，氧化沟特有的技术经济优势和脱氮除磷的客观要求相结合已成为一种必然。脱氮除磷的氧化沟是将氧化沟和其它的脱氮除磷工艺结合起来，既具有完全混合型反应器的特点，又具有推流型反应器的特点。在氧化沟中。由于曝气设备的布置特点，使得溶解呈现分区变化而在非曝气区内形成缺氧段有利于生物脱氮。用氧化沟用来实现本应有多个反应器来承担的任务，使脱氮除磷工艺更加紧凑，氧化沟的功能更加强大。

氧化沟工艺较常规 A_2/O 等工艺省去了污泥回流和混合液回流，可减少动力消耗。常熟市城北污水处理厂采用了改进型三槽式氧化沟，其氨态氮去除率约为81%，除磷效率高达89%^[4]。荷兰DHV有限公司开发的Carrousel氧化沟，其脱氮效率约为89%，除磷效率高达50%。五段Carrousel—Bardenpho工艺将氧化沟工艺结合到五段Bardenpho工艺中，实现了更高层次的脱氮。目前，已



有大量研究者致力于完善此工艺的计算机模拟和在线控制策略。

3.4 SBR工艺及其改进

SBR是批式间歇活性污泥法(又称序批式反应器, Sequencing Batch Reactor)的简称。近年来,随着工业和自动化控制技术的飞速发展,特别是监控技术的自动化程度以及污水处理厂自动化管理要求的日益提高, SBR工艺作为一种较早的污水活性污泥处理系统而愈发受到重视。

SBR处理工艺可根据具体的净化处理要求,通过不同的控制手段而比较灵活地运行。由于其在运行时间上的灵活控制,为其实现脱氮除磷提供了极为有利的条件。SBR工艺可以很容易地实现好氧、缺氧及厌氧状态交替的环境条件,好氧条件下通过增大曝气量、反应时间和污泥龄来强化硝化反应及保证除磷菌过量摄磷过程的顺利完成;也可以在缺氧条件下方便地投加原污水(或中醇等)提高污泥浓度等方式以提供有机碳源作为电子供体使反硝化过程更快地完成;还可以在进水阶段通过搅拌维持厌氧条件以促进除磷菌充分地释放磷。与其他工艺相比, SBR工艺处理构筑物少,调节功能好,对水质、水量的变化具有一定的适应性,且不会产生污泥膨胀。

Goronszy在SBR基础上开发出内循环活性污泥法(CAST)。其最显著的特点是在反应器的前端设有一生物选择器,设计合理的生物选择器可以有效地抑制丝状性细菌的大量繁殖,克服污泥膨胀,提高系统的稳定性。CAST运行控制简单,整个过程只有曝气、沉淀两阶段。从城市污水厂的运行情况看,该工艺具有良好的脱氮效果,出水总氮低于 5g/L ,但除磷效果略显不足,只有70%~80%,出水总磷多在 $1\sim 2\text{mg/L}$ ^[6]。CAST工艺耐冲击负荷能力强,对一些工业污水比例较大的城市污水,处理效果仍良好。

序批式工艺也存在一些明显的不足,当要求同时进行有机物、氮和磷的去除时,基本的运行方式虽在有机物的去除方面可达到较为满意的处理效果,但由于脱氮和除磷所需的环境条件不同及脱氮和除磷过程中所需基质的不同及产物间彼此的相互影响,往往使SBR工艺难以达到有效和理想的脱氮除磷效果。MSBR^[6](改良型SBR)工艺是在序批式反应器的启发下,由CQ Yang等人结合传统活性污泥法技术研究开发出的。它将连续流与序批操作巧妙地结合起来,既能连续进出水,

又能根据水质波动调节系统的缺氧/好氧反应时间,从而高效稳定地运行,是一种高效、经济、灵活,易于实现计算机自动控制的新型污水处理技术。目前MSBR系统主要在北美和南美应用,国内同济大学对其正在作进一步的研究,并已取得了一些研究成果。

4、结语

污水生物脱氮除磷的目的是通过微生物的作用将氮、磷从水中去除,有效防止经常规处理后的污水仍然成为水体富营养化的源头。现有的生物脱氮除磷组合工艺主要是建立在传统生物脱氮除磷理论上进行构架组合的。其主要缺点有,较大差别的微生物在同一系统中相互影响,制约了工艺的高效性和稳定性;较多的工艺流程中包含多重污泥和混合液的回流。增加了系统的复杂性,提高了基建和运行费用;脱氮除磷过程中对能源(如氧、COD)消耗较多;剩余污泥富含磷,处理量较大。这些都不符合环境的可持续发展的要求。近年来,同时硝化反硝化现象、反硝化除磷现象、短程硝化反硝化脱氮工艺、厌氧氨氧化工艺等的发现和研究,为解决上述问题提供了有效的途径。今后,一方面要大力开发符合国情、尤其是适合现有污水处理厂改造的高效除磷脱氮技术;另一方面,开展对生物脱氮除磷更深入的基础研究和应用开发,优化生物脱氮除磷组合工艺,最终产生高效、经济的脱氮除磷组合技术。

参考文献

- [1] 俞辉群译《水和废水技术研究》北京:中国建筑工业出版社,1992,457-485
- [2] 高延耀等.生物脱氮工艺中的同步硝化反硝化现象.给水排水.1998,24(12):6-9
- [3] Siebritz IP, et al. Observations supporting phosphorus removal by biological excess uptake review. Water Sci. Tech., 1983, 15: 3-4
- [4] 王洋祥等《显著提高三槽式氧化沟除磷效率的改进型设计及其优化运行》南京市政. 2000, (3). 32-37
- [5] 朱明权《循环式活性污泥法(CAST)的应用及其发展》中国给水排水, 1996, 12(6): 4-10
- [6] 李春鞠等《改善MSBR系统脱氮效果的试验研究》中国给水排水, 2001, 17(1): 9-14