

## 反硝化脱氮在污水深度处理的运行控制要点

吴昭东

安徽省通源环境节能股份有限公司, 安徽 合肥 230022

**[摘要]**随着城市的不断发展,人们生活水平越来越高,同时也带来了污染问题。水资源是重要的自然资源,社会生产和人们生活均离不开水资源的支持,若水资源出现污染,便会影响到自然生态及人类社会的可持续发展。为了防止破坏河流等自然生态环境,城市完善了污水处理系统,经过深度处理后的污水可以再次进行利用,提高水资源的利用率及社会效益。在社会快速发展之下,城镇污水处理也面临着许多新问题,现阶段最大的难题在于总氮的去除。为了给脱氮创造出一个良好的环境,一些污水处理厂刻意增加碳源的投加量,从而导致出水COD超过标准。因此,加强反硝化脱氮设计及运行控制要点研究非常重要。文中就污水处理总氮去除问题进行讨论,从多个方面进行分析,探讨如何进行有效的运行控制。

**[关键词]**反硝化脱氮;污水深度处理;运行控制

DOI: 10.33142/aem.v4i12.7570

中图分类号: X70

文献标识码: A

## Operation Control Points of Denitrifying and Denitrification in Advanced Sewage Treatment

WU Zhaodong

Anhui Tongyuan Environmental Energy Conservation Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230022, China

**Abstract:** With the continuous development of cities, people's living standards are getting higher and higher, which also brings pollution problems. Water resources are important natural resources, and social production and people's life cannot be separated from the support of water resources. If water resources are polluted, it will affect the sustainable development of natural ecology and human society. In order to prevent the destruction of natural ecological environment such as rivers, the city has improved the sewage treatment system, and the sewage after advanced treatment can be reused to improve the utilization rate of water resources and social benefits. With the rapid development of society, urban sewage treatment is also facing many new problems. The biggest problem at this stage is the removal of total nitrogen. In order to create a good environment for nitrogen removal, some sewage treatment plants deliberately increase the amount of carbon sources, resulting in effluent COD exceeding the standard. Therefore, it is very important to strengthen the research of denitrification design and operation control points. This paper discusses the problem of total nitrogen removal in sewage treatment, analyzes it from many aspects, and discusses how to carry out effective operation control.

**Keywords:** denitrification and denitrification; advanced sewage treatment; operation control

### 引言

就目前国内城镇污水处理厂运行情况来看,有些地区的污水处理厂进水碳源偏低,碳氮比无法满足反硝化要求,总氮去除效率低。为了缓解污水处理压力,控制水体的富营养化,避免影响污水处理效率,一些城镇地区建立了较严格的管理体系和排放标准,要求城镇污水处理厂出水执行地表水准IV类,即总氮小于10mg/L。但结合实际来看,许多污水处理厂都无法达到该项标准。为提高污水处理效率,降低污水处理厂运行成本,实现节能高效的深度脱氮除碳,使出水总氮达标,因加强反硝化脱氮技术的研究,优化污水处理方案。

### 1 城镇生活污水的特点

我国地域辽阔,物产丰富,国土面积排行世界第三,境内拥有许多河流,淡水资源丰富,淡水资源总量占世界总量的6%。但因地理环境、人口方面的原因,我国的水资源分布十分不均匀,人均淡水资源量很低,是世界上人均水资源贫乏的其中国家。截止到2020年,我国人口达到14亿,城镇人口达9亿,农村人口达5亿。因此,从

该项数据中可以看出,城镇人口数量高于农村地区,并且城镇人口每年都在持续增长中,随着带来的就是资源问题。城镇人口的增加,提高了城市用水量,不仅是生活用水,还包括工业生产和市政绿化等方面,另一方面也增加了城市的供水压力和污水处理负担。有相关调查研究资料指出,在全国的四千多座城镇污水处理厂中,有相当一部分的污水处理厂其进水碳源偏低,碳氮,碳磷比无法满足生化脱氮除磷要求,进而影响到污水处理效率和质量。在党的二十大中,国家提出了坚持绿色环保、人与自然和谐共生的可持续发展要求,建设中国特色社会主义。随着环境保护治理工作的不断推进,城镇污水处理效率和能力进一步提高。截止到2020年,国内共有1万多家污水处理厂,平均污水处理能力约2.7亿m<sup>3</sup>/d左右,与过去十年相比,城镇污水处理厂数量呈断崖式增长,并且全国地表水监测的1937个水质断面中,仍有部分尚未达到III类水质标准。

随着人们环保意识的增强,富营养化的危害逐渐得到重视,富营养化主要是由于水源氮、磷等物质超量,水体

无法消化和自净,使得水中溶解氧下降,影响水中生态环境,严重的情况则会引起水体动植物或微生物死亡,破坏自然生态系统平衡。从被监测的水质断面可以看出,当前城镇污水处理厂能力还要不断提高,积极创新污水处理技术,优化污水处理方案,才能维持自然生态和人类文明可持续发展。

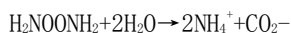
## 2 脱氮技术原理简介

### 2.1 传统脱氮技术原理

污水里含有的氮化合物其存在形式丰富,一般是以蛋白质、氨基酸、尿素、胺类化合物等有机氮和  $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4^+$  等氨态氮形式存在。污水处理中,生物处理技术的应用的比较多,脱氮技术就是其中的一种。在生物处理当中,氮的转化包含了氨化、同化、硝化和反硝化作用<sup>[1]</sup>。

氨化作用:

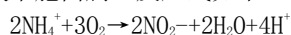
当氨化菌处于好氧或厌氧环境时,分解水体中的有机氮化合物,并将其转化为氨态氮,整个过程就成为氨化作用。在大多情况下,微生物本身会对含氮化合物产生反应,分解其中的有机氮化合物,将氨的能力充分释放出来。氨化作用的反应速度很快,基本上实验中所使用的常规生物反应器都能满足氨化作用的反应需求。污水中微生物很多,还有动物生产的排泄物,分解污水中的尿素,从而得到氨氮。以尿素为例,反应式如下:



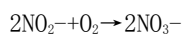
硝化作用:

处于好氧环境时,水体中的氨态氮被硝化细菌氧化为硝酸盐,整个过程便成为硝化作用。一般条件下,硝化作用是由两组自养型好氧微生物分两个阶段进行的。

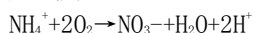
第一个阶段:水体中的氮化合物,即氨氮,被氨氧化菌氧化为亚硝酸盐,氨氧化菌有多种,常见的有亚硝酸螺菌属、亚硝酸球菌属、亚硝酸弧菌属、亚硝酸叶菌属和亚硝酸单胞菌属。反应式如下:



第二阶段:水体中的亚硝酸盐氧化菌将亚硝酸盐氧化为硝酸盐,亚硝酸盐氧化菌含硝化螺菌属、硝化球菌属、硝化刺菌属和硝酸杆菌属,反应式为:



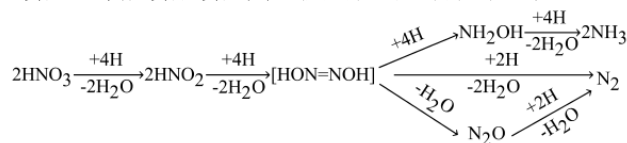
AOB 和 NOB 总称为硝化菌,在生物学上为专性好氧菌,可将无机化合物作为碳源,比如二氧化碳、碳酸氢根等,从氨态氮和亚硝酸盐氧化反应中获得能量。但因在氧化反应中,所获得的能量比较少,为此硝化菌生长比较慢。硝化反应式为:



反硝化作用:

当水体中的反硝化菌处于厌氧或缺氧环境时,会将处于水中的硝态氮和亚硝态氮还原为氮气、一氧化二氮、一氧化氮等气态氮,而整个反应过程就成为反硝化作用。反硝化菌为异养型兼性厌氧菌,其包含微球菌属、芽孢杆菌属、无色杆菌属、气杆菌属、假单胞菌属、链霉菌属、变形杆菌属、嗜皮菌属、产碱杆菌属和黄色杆菌属等。当反

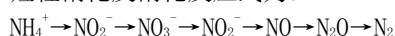
硝化细菌处于溶解氧丰富的水体中时,便可以将水中的分子氧作为电子受体,有机物作为电子供体,并进行分解。若水体中没有分子氧,反硝化细菌则利用硝酸盐和亚硝酸盐作为电子受体,有机物为碳源和电子供体,为反硝化细菌提供能量支撑并被氧化,  $\text{O}_2^-$  作为受氢体,生成  $\text{H}_2\text{O}$  和碱度<sup>[2]</sup>。反硝化是通过反硝化细菌合成代谢和分解代谢完成反应过程,合成代谢用于细胞合成,分解代谢生成一氧化二氮、一氧化氮和氮气等,反硝化的生物化学过程:



### 2.2 新型脱氮技术原理

#### (1) 短程硝化反硝化

短程硝化反硝化阶段无需经  $\text{NO}_3^-$ -N, 直接将  $\text{NO}_2^-$ -N 还原为  $\text{N}_2$ 。常规认为,短程硝化反硝化在反应期间需要太多碳源,与全程硝化比较,碳源需求量降低 40%,提高了脱氮处理效率,有利于处理低碳氮比污水,降低污水处理成本。短程硝化反硝化反应式为:



通常情况下,短程硝化维持方法有:低溶解氧。AOB 氧饱和常数在 NOB 之下,长时间后 AOB 可生长为优势菌株,但在反应过程中硝化不稳定;高温;高游离氨;适当的游离亚硝酸盐;高 pH 值。AOB 与 NOB pH 值存在较大区别,可对氨氮形态产生直接影响;实时控制曝气时间<sup>[3]</sup>。

#### (2) 厌氧氨氧化

人们早在以前就发现缺氧深海中存在反硝化作用所不能对其进行解答的氨氮消失情况。厌氧氨氧化菌可以将氨氮氧化为  $\text{N}_2$ , 反应中以硝酸盐或亚硝酸盐氮作为电子受体。AAOB 专性厌氧,能在 0.03mg/L 痕量氧气浓度下抑制住氧化反应,排除完氧气后便恢复新陈代谢。到目前为止,AAOB 在流化床、生物膜反应器等系统中均可以得到富养。

#### (3) 内源反硝化

微生物除了有分解能力之外,还具有储存碳源的特点。当微生物处于厌氧或者缺氧环境下时,会“吃掉”水体中的有机物并储存,存于微生物体内的碳源成为内碳源。糖原、聚羟基脂肪酸酯是常见的内碳源,他们能够为微生物提供能量。在脱氮系统中,具有合成 PHA 能力的细菌成为合成菌,利用细菌自身内碳源进行反硝化脱氮,该过程就是内源反硝化。活性污泥污水处理领域最早在强化生物除磷系统中发现 PHA 合成现象。当聚磷菌处于厌氧环境中时,可以将细胞内的聚磷酸盐进行分解,并产生腺嘌呤核糖三磷酸,摄入污水中挥发性脂肪酸等有机物,以 PHB 和糖原等有机颗粒形式进入生物细胞。当水体中的电子受体缺乏外碳源有机物时,就失去了电子供体,此时 PAO 可以氧化态氮作为电子受体,以 PHB 为电子供体,总称为反硝化聚磷菌,用于脱氮除磷除碳。与 PAOs 代谢类似的还有聚糖菌,聚糖菌可在厌氧环境下与乙酰辅酶和丙酰辅酶产生反

应并提供能量,在吸收有机物之后合成 PHA。其中有一些聚磷菌可以与内碳源反应,该反应过程称为反硝化,所产生的物质为反硝化聚糖菌,当反硝化聚糖菌处于缺氧环境时,便可以还原为氧态氮。

除了 PAOs 外,活性污泥系统中还有许多 PHA 合成菌,可以在完全好氧的条件下合成 PHA,所合成的菌属在缺氧环境下利用氧化态氮氧化 PHA 并提供能量。厌氧与好氧环境的交替,可以丰富内源有机物,利用缺氧环境作用进行内源反硝化脱氮。主要原理是微生物细胞存活需要大量的有机物支持,若所需要的酶数量低于生长需求时,便会影响微生物反应。PHA 水解在缺氧或好氧环境下都可以进行,对于后置反硝化装置应在硝化结束时停止曝气,避免能量不足。倘若能够将内碳源在反硝化中的作用完全开发出来,就能够降低外碳源的添加量,同时还能减少污泥产量,从而提高污水处理厂整体效益及处理效率。

#### (4) 同步消化反硝化

有专家在研究中发现,硝化细菌和反硝化细菌有其复杂的多样性,该项特征主要表现在生理方面。大多数反硝化细菌可以在好氧环境下发生作用,即为反硝化,一些异养菌也能进行硝化,这些研究结果为 SND 生物脱氮理论提供了有力的支撑。硝化反硝化的反应动力学平衡控制是同步硝化反硝化的重要部分,也是整个过程的关键。在 SND 工艺中,硝化与反硝化反应是在同一个反应器中完成的。因此,与过去所使用的生物脱氮技术比较,同步硝化反硝化工艺具有非常显著的优势和特征,主要表现在节省反应器体积,缩短反应时间,无需酸碱中和。现阶段,关于同步硝化反硝化生物脱氮技术研究主要集中在氧化沟、生物流化床等方面。宏观环境理论认为,SND 的存在是因充氧装置和反应器构造导致曝气池充氧不均匀,好氧反应器中出现大面积缺氧,从而为反硝化细菌生长提供了有力的条件。生物学理论认为,好氧池中存在的异养硝化菌、好氧反硝化菌等,进一步提高了硝化和反硝化出现的概率。其中,HN-AD 菌可利用碳基质作为异养硝化能量,也可作为电子供应,直接利用异养硝化的产物作为好氧反硝化的反应物,并将存于好氧环境中的各种氮化合物转化为氮气态。

#### (5) 自养反硝化

许多反硝化细菌为化能异养型微生物,同时也存在部分可利用无机碳水化合物作为碳源,以氢气、铁等作为电子供体还原氧化态氮的细菌,这种细菌成为自养反硝化菌。自养反硝化均不需要有机物作为碳源,有利于降低污泥产量。当前,自养反硝化可分为三种:一是硫自养反硝化。处于缺氧环境下的反硝化脱硫细菌,由还原态硫化物提高能量并作为电子供体进行反硝化;二是氢自养反硝化,以氢气为电子供体还原氧化态氮。比较常见的氢自养反硝化均多为兼性菌;三是铁自养反硝化,铁自养反硝化菌通常以铁、亚铁离子作为电子供体。

### 2.3 碳源的选择

污水经过处理后,其 C/N 降低,从而影响反硝化作用

效果,因此外加碳源非常重要。当前,在反硝化脱氮中,应用比较多的碳源有甲醇、乙酸和葡萄糖等等。甲醇被分解后产生二氧化碳和水,不会产生难降解的物质,反硝化速度快,污染少。但甲醇容易引起爆炸和火灾,投入过程非常严格,其储存需要进行备案,手续复杂,对人体也有一定的毒害作用,安全性低。乙酸也属于危险物品,但熔点比较高,安全性较好。如果周围温度比较低时,便形成冰状晶体,受到气候条件的限制,不适用于北方地区。与上述两种碳源相比,葡萄糖的安全性高、对人体不会产生毒害,在污水处理中通常作为驯化物质。污水处理所使用的葡萄糖多为工业葡萄糖,该类葡萄糖内含杂质多,准确性差,产生的污泥量大,适用于大型污水处理厂<sup>[4]</sup>。

### 2.4 硝化液回流比控制

内回流比与总氮去除率的关系为  $R = \eta \text{TN} / (1 - \eta \text{TN})$ , R 为硝化液回流比,  $\eta \text{TN}$  为总氮去除率。硝化液回流比直接影响各项污水处理反硝化脱氮速率和效果,也会对系统动力造成影响,增加系统运行消耗,提高污水处理成本。城镇污水一般设置硝化液回流比 100%~400%,相关研究实验证明,当回流比超过 200%后,脱氮率就会下降,最终脱氮率就很难突破 90%。其次,硝化液回流量越大,其进水稀释程度会相应的增加,降低 C/N 比。为此,在进行污水处理过程中,倘若回流比有增加的趋势,就需要提高碳源的投入量,使其与回流比保持平衡,以保证脱氮速率和效果。在工艺设计中,相关工作人员需综合考虑系统进水和碳源投加点,合理选择进水方式,可采用总进水管进水,闸门分开进入各处理池中,但要确保硝化液与碳源含量呈正比,确保比例均衡,充分混合后投入各处理池中,以防止出现分配不均、碳源与回流硝化液不充分等现象。

### 3 结语

综上所述,在污水处理过程中,反硝化脱氮系统运行控制需结合硝化菌、反硝化菌特性,对环境条件、温度、有机物浓度等进行充分考量。反硝化前置工艺可用于城镇生活污水的深度脱氮处理中,但不适用于高氨氮低有机物的工业废水处理。因此,只有合理选择碳源,计算好碳源投加量,才能保证脱氮效果,降低污水处理成本。

#### [参考文献]

- [1]张海军,王荣钢,杨大卫,等.生物脱氮技术在城市污水处理中的应用及工艺优化[J].粘接,2022,49(10):110-113.
- [2]刘花敏,张鹏,马凯强.脱氮工艺在化工污水处理中的运用思考[J].皮革制作与环保科技,2022,3(17):19-21.
- [3]蒋悦,花春文.反硝化深床滤池工艺在污水深度处理中的脱氮研究[J].云南化工,2020,47(12):58-60.
- [4]周文磊.反硝化膨胀床生物滤池在城镇污水深度处理的中试研究[D].广州:广州大学,2018.

作者简介:吴昭东(1983.11-),男,毕业于安徽建筑大学;环境工程专业,当前就职于安徽省通源环境节能股份有限公司,技术工程师。