



生活污水除磷及氨氮降解的试验研究

於小芬

(浙江省工业设计研究院, 浙江 杭州 310003)

摘 要:采用 SBR 工艺处理有机物含量低、氨氮含量高的城市污水,经过反复试验研究发现,该工艺对各项污染物的平均去除率为:COD_{Cr}80%、BOD₅83%、NH₄⁺-N75%、TP61%,处理后出水水质均能达到国家规定的《污水综合排放标准(GB 8978 - 1996)》,并提出了该工艺处理低碳高氮城市污水的最佳工艺条件。

关键词:城市污水;除磷及氨脱氮;SBR 工艺

中图分类号:TU992.3

文献标识码:A

文章编号:1008 - 3707(2004)05 - 0062 - 03

间歇式活性污泥法即序批式反应器(Sequencing Batch Reactor,简称 SBR)是一种按顺序、间歇式运行的污水生物处理工艺。SBR 反应器去除有机物的机理在充氧时与普通活性污泥法相同,不同之处在于 SBR 工艺是按进水、反应、沉淀、排水、空载排泥五个工序,依次在同一个反应器中周期性运行。SBR 工艺提供的是时间程序的污水处理,而不是连续流提供的空间程序的污水处理^[1]。同时 SBR 系统采用限制曝气或半限制曝气运行方式,可以在时间序列上实现缺氧/好氧或厌氧/缺氧/好氧的组合,并控制每一部分合适的时间比例,从而可得到较好的脱氮或脱氮除磷的效果。尤其对于水质水量变化大的情况,该工艺更能充分体现出传统工艺完全不具备的操作灵活的特点,从而保证良好的处理效果。本试验是在保证常规污染物处理效果的情况下,重点研究 SBR 工艺除磷脱氮效果及最佳效果时的工艺条件。经过一年的试验,结果表明,SBR 工艺对城市污水各项污染物都能有效地去除,对生活污水中氮、磷等污染物具有良好的去除效果。在操作工艺条件控制适当的情况下,采用试验水样平均进水水质为 COD_{Cr} = 197 mg/L、BOD₅ = 95 mg/L、SS = 203 mg/L、NH₄⁺-N = 63 mg/L、TP = 1.3 mg/L,处理后出水水质均能达到国家规定的排放标准(GB 8978 - 1996)。

1 生物除磷脱氮机理

1.1 硝化、反硝化作用机理

污水中的有机氮在有氧或无氧的条件下,通过异氧菌的氨化作用,首先转化为 NH₄⁺-N,再进一步转化为 NO₃⁻-N,此即生物硝化过程。在硝化反应中,NH₃⁺-N 氧化为 NO₂⁻-N 时所产生的能量大约为 NO₂⁻-N 氧化为 NO₃⁻-N 时所产生能量的 4 ~ 5 倍,所以在稳定状态下,生物处理系统中不会产生亚硝酸盐的积累,硝化反应的速度限制步骤为亚硝酸菌属将 NH₃-N 转化为 NO₂⁻-N 的过程^[2]。

经硝化反应,污水中的氮由 NH₃⁺-N 转化为 NO₃⁻-N,在缺氧的条件下,反硝化菌可将污水中的 NO₂⁻-N、NO₃⁻-N 还原为气态氮。此反应称为反硝化反应。反硝化菌为兼性异氧菌,在无分子态氧存在的情况下,反硝化菌以污水中含碳有机物作为反硝化过程的电子供体,以硝酸盐和亚硝酸盐中的 N⁺⁵、N⁺³作为能量代谢中的电子受体,O₂ 作为受氢体,生成 H₂O 和 OH⁻ 碱度。所以,反硝化过程最终在将污水中 NO₂⁻-N、NO₃⁻-N 还原为气态氮的同时,使得污水中的有机物作为能源而得以氧化稳定。通过硝化、反硝化作用,污水中的 NH₃⁺-N 最终以气态形式从污水中被去除。

1.2 除磷作用机理

污水中的磷有很多存在形式,但主要为正磷

酸盐、聚磷酸盐和有机磷。污水在输送和预处理的过程中,大部分聚磷酸盐和有机磷被水解或矿化成了正磷酸盐。污水中剩余的有机磷和聚磷酸盐在进入生物处理系统后,也将被矿化或水解成正磷酸盐,然后被聚磷菌摄取而去除,从而达到除磷的目的。

2 试验方法及装置

2.1 试验水样

试验水样取自某小区污水排出口,废水主要来源为生活污水、餐饮废水等,其中生活污水占70%以上。试验水样特点为 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量高,有机物含量低,废水水质见表1。

表1 原水水质(mg/L)

水质指标	SS	COD_{Cr}	BOD_5	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	TP	pH
最高值	327	382	151	125	3.5	7.0
最低值	82	110	50	20	0.6	6.4
平均值	203	197	96	63	1.3	6.7

2.2 试验装置

试验用水池及SBR反应器均采用PVC塑料制作,SBR反应器有效容积为30 L,试验水量为20 L,采用鼓风曝气,由空压机通过烧结砂芯布气、充氧,SBR反应器采用浮动式出水方式(见图1)。

2.3 试验方法

取生活排水沟底泥作为种泥投入SBR反应器,并加入试验水样,连续曝气,进行菌的培养,3 d后每天换水一次,继续连续曝气,并测定混合液的SV值,经过7~10 d的培养,可发现SV值不断升高,混合液中污泥絮体形成明显,污泥外观呈黄褐色,活性及沉降性能均较好。第11 d测定SV值达13%。第12 d开始试运行,原水经提升泵进入高位水池,再自流进入SBR反应器,经处理后排放。通过变换运行操作条件,严格测定进出水各项污染物指标,确定SBR工艺处理城市污水的效果及最佳工艺条件,特别是除磷脱氮效果。试验中各项污染物指标均采用标准方法测定。

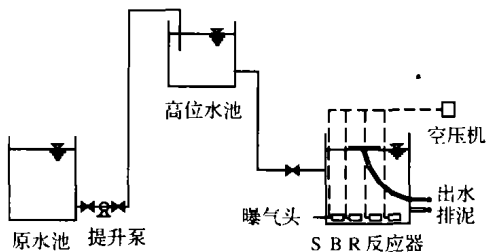


图1 试验装置图

2.4 运行周期及运行方式

在SBR工艺的处理过程中,运行周期及一个周期中各工序运行时间的长短,对反应器中污泥性能及整个系统的处理效果都有较大的影响。本试验在研究SBR工艺对城市污水中有机物去除效果的同时,着重考察该工艺的除磷脱氮效果。由于硝化菌、反硝化菌和聚磷菌所要求的生活环境条件各不相同,所以必须严格按照微生物的习性及所要求的处理程度控制操作条件,合理确定运行周期及各工序时间的长短,才能为各种微生物提供良好的生存环境,从而保证最佳处理效果。本试验采用限制曝气的运行方式进行了周期为4.0 h、6.0 h、8.0 h、10.0 h的运行试验,试验结果显示周期为8.0 h、10.0 h时,对各项污染物的处理效果都可达到排放标准,出水水质已达到国家规定的排放标准(GB 8978-1996)。所以,为降低运行费用,本试验确定最佳运行周期为8.0 h。

生物硝化为好氧过程,生物反硝化需在缺氧条件下完成,而生物除磷是通过积磷菌在好氧条件下对污水中磷的超量吸收及厌氧条件下磷的有效释放,最后以排泥的形式将磷从系统中排出。因此要想达到在降解有机物的同时又能除磷脱氮的处理效果,就必须创造硝化菌、反硝化菌、聚磷菌所要求的好氧-缺氧-厌氧环境。因此本试验采取限制曝气的运行方式,即污水进入反应器时不曝气,但要搅拌、混合,使进水期间废水与污泥充分接触,创造厌氧条件,以利于磷的有效释放和溶解性有机物的吸收。厌氧搅拌后再曝气,进行磷的吸收和硝化,同时降解有机物,然后在缺氧条件下搅拌,使 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 进行反硝化反应,一方面可使污水中总氮去除,另一方面可控制因 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在反应器中过多积累而抑制后序厌氧过程中磷的释放,而降低除磷效果。生物反应后再沉淀、排泥、出水。经试验发现当运行周期为8.0 h时,各工序最佳时间分配为进水0.5 h、厌氧搅拌1.0 h、曝气3.5 h、缺氧1.5 h、沉淀排泥1.0 h、出水0.5 h。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

经过两次集中试验,第一次连续试验3个月,第二次连续试验4个月,由试验结果可以看出,SBR工艺对城市污水各项污染物均能有效去除。



试验水样中 SS、COD、BOD₅ 含量均较低,因此经该工艺处理很容易达到排放标准,同时对含量较高的 NH₄⁺-N 及 TP 只要操作条件控制适当,出水水质能够达到国家规定的污水排放一级标准,即 SS < 20 mg/L, BOD₅ < 20 mg/L, COD_{cr} < 60 mg/L, NH₄⁺-N < 15 mg/L, TP < 1.0 mg/L。

3.2 讨论与分析

(1) 溶解氧(DO)。反应器中 DO 的高低对处理效果有较大的影响。为保证好氧阶段在降解 BOD₅、COD 的同时进行硝化反应及磷的超量吸收,反应器中必须保证足够的 DO,试验表明,SBR 工艺处理城市污水除磷脱氮时,为得到较好的总体处理效果,DO 的控制条件为:好氧阶段 2~3 mg/L,缺氧阶段不大于 0.5 mg/L,厌氧阶段不大于 0.2 mg/L。

(2) pH 值是生物处理中重要的影响因素之一,很多资料均显示,硝化菌对 pH 变化反应敏感。pH 为 7.0~8.5 时,生物活性最强,并且在硝化反应过程中,随着 NH₄⁺-N 转化为 NO₃⁻-N,会产生部分 H⁺,从而消耗反应器中混合液的碱度,使混合液 PH 降低。为保证硝化反应的正常进行,很多工艺都采用了向系统中加碱维持 pH 值稳定的方法。本试验进水 pH 多数为 6.5~7.0,虽然比硝化反应的最佳 pH 值低,但在整个试验过程中并未向系统补充碱度,却也获得了较好的脱氮效果,分析原因有二:首先 SBR 工艺集所有的处理过程于同一个反应器内,虽然在好氧阶段 pH 值会有所降低,但在缺氧阶段,由于反硝化以混合液中的 H⁺ 为电子受体,从而消耗了水中的 H⁺,使混合液中 pH 值有所回升,同时为达到除磷脱氮的双重效果,好氧阶段 DO 并不是很高,硝化反应不是很充分,故 pH 降低不多;其次,每一种微生物都有适应环境的能力,本试验处理对象是城市污水,其 pH 值变化较小,故经过一段时间的运行后,微生物逐渐适应于这样的 pH 值条件,从而保证了较为稳定的处理效果。

(3) 基质浓度和 BOD-MLSS 负荷。基质浓度的大小对任何一个处理系统都会有较大的影响,SBR 工艺虽然操作灵活,有较强的适应性,且进水可与池中的污水混合,降低进水污染物浓度。本

试验所取水样特点为高 NH₄⁺-N,低 COD、BOD₅,即进水中 C/N 比较低。从试验结果可看出,进水中 NH₄⁺-N 浓度大于 50 mg/L 时,出水中 NH₄⁺-N 值会略有偏高。同时试验水样 TP 较低,虽然出水基本上都能够达到排放标准,但去除率较低。

当 BOD-MLSS 负荷过高时,除磷脱氮效果会明显降低。本试验采用 BOD-MLSS 负荷为 0.09 kg BOD/kg MLSS.d,出水中各项污染物指标均达到了较满意的效果。

(4) 污泥龄(SRT)。为达到良好的脱氮效果,就应该采用较高的 SRT,而为了提高除磷效率,就需要减小 SRT。因为硝化菌增殖速度慢,世代期长,如果没有足够长的 SRT,就不能保证活性污泥中硝化菌的数量,从而也得不到良好的硝化效果。而除磷是以系统排泥实现的,所以 SRT 越短,排泥量多,除磷效果就会越好。为兼顾除磷脱氮都能达到较理想的效果,本试验采用 SRT 为 15 d。

4 结 语

(1) SBR 工艺处理城市污水能够在降解有机物的同时,达到除磷脱氮的效果,各项污染物指标均可达到污水排放标准(GB 8978-1996)。

(2) SBR 工艺进行城市污水除磷脱氮处理时,各污染物的去除效率难以同时达到很高的水平,加之本试验所取水样的高氮、低碳、低磷的特殊性,采用运行周期为 8.0 h 时,虽然出水中各污染物都达到国家规定的排放标准,但去除率分别为 COD_{cr} 80%、BOD₅ 83%、NH₄⁺-N 73%、TP 61%。

(3) 生物除磷是将废水中的磷通过聚磷菌的作用浓缩到污泥中而将磷与水分离的方法,排放出的污泥在厌氧条件下又会将磷释放出来,若不妥善处理排出的剩余污泥,磷又会再次进入水处理系统或环境水域,为避免二次污染,应采取相应的污泥处理手段。

参 考 文 献

- [1] 王凯军,贾立敏.城市污水生物处理新技术开发与应用[M].北京:化学工业出版社,2001.138~149.
- [2] 郑光灿,李亚新.污水除磷脱氮技术[M].北京:建筑工业出版社,1998.39~48.