

氧化沟工艺及其生物脱氮原理

高守有¹, 彭永臻^{1,2}, 胡天红³, 李帅军³

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;
2. 北京工业大学 环境与能源学院, 北京 100022; 3. 河南省济源市城市污水处理厂, 河南 济源 454652)

摘要: 系统介绍了氧化沟工艺的基本工艺特征和运行方式等, 结合国内外研究的进展, 对同时硝化反硝化的形成机理及其对不单独设置缺氧段的氧化沟工艺的应用进行了分析, 对于氧化沟的存在的问题和发展前景做了展望。

关键词: 污水处理; 氧化沟; 生物脱氮; 同时硝化反硝化

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-0946(2005)04-0435-05

Study on oxidation ditch process and principle of biological nitrogen removal

GAO Shou-you¹, PENG Yong-zhen^{1,2}, HU Tian-hong³, LI Shuai-jun³

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

3. Jiyuan Sewage Treatment Plant, Jiyuan 454652, China)

Abstract: Descriptions on the working model and technological characters of the oxidation ditch processes were systematically presented. The mechanism of simultaneous nitrification and denitrification (SND) is analyzed, and also its application in the oxidation ditch without isolated anoxic zone. Some questions concerned with and the further studies on the oxidation ditch process are proposed.

Key words: waste water treatment; oxidation ditch process; biological nitrogen removal; simultaneous nitrification and denitrification

1 氧化沟工艺概况

氧化沟工艺是活性污泥法的一种变形工艺, 属于延时曝气的活性污泥法。1954年荷兰第一座氧化沟污水处理厂投入使用, 随着工业技术和水处理工艺的不断发展和污水排放标准的不断提高, 氧化沟工艺和构型已经得到很大发展。

氧化沟工艺一般都采用封闭的环状沟, 污水和活性污泥在沟内进行几十圈甚至更多的循环后排出系统。这种池型构造和运行方式, 使氧化沟在流态上兼具推流式和完全混合式的双重特点^[1]; 采用低负荷(污泥负荷为 0.05 ~ 0.15 kgBOD/kgMLSS·d;

在考虑硝化的情况下, 污泥负荷一般小于 0.10 kgBOD/kgMLSS·d)和高污泥龄(SRT = 15 ~ 30 d, 在要求完全硝化的情况下, 一般污泥龄大于 20 d), 污泥在氧化沟内充分好氧稳定, 不需要厌氧消化; 通常氧化沟均采用表曝设备, 如转刷、转碟和表曝机等, 曝气设备同时满足充氧、混合、推动混合液循环运动以及防止活性污泥沉淀等多方面要求。防止活性污泥沉积的混合液的平均流速要求不小于 0.3 m/s。供氧量的控制通常通过改变曝气设备的运行台数、转动速度和调节浸水深度来实现。

由于具有基建和运行费用较低, 操作技术相对简单和处理效果稳定等优点, 氧化沟污水处理技术

收稿日期: 2004-12-17.

基金项目: 国家“863”项目(2003AA601010); 北京市科委计划项目(H020620010120)。

作者简介: 高守有(1977-), 男, 博士生, 研究方向: 污水处理过程控制。

已经广泛应用在我国城市污水处理厂的建设中。

2 常见的氧化沟

2.1 连续工作式氧化沟

连续工作式氧化沟是氧化沟只作为曝气池使用,不具有沉淀功能,而且进出水的流向不发生改变。

1) Pasveer 氧化沟

Pasveer 氧化沟,见图 1。是同传统活性污泥法最为接近的氧化沟工艺。构型上根本性的变化来自于曝气设备和池体构造的改变上:采用转刷曝气和环形沟道。受当时曝气设备的限制,氧化沟的设计有效水深一般在 1.5 m 以下,因而占地面积大。

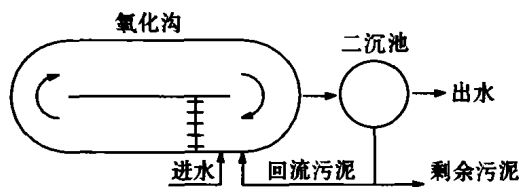


图 1 Pasveer 氧化沟

2) Carrousel 氧化沟

为了弥补转刷式氧化沟占地大的缺点,20 世纪 60 年代,立式低速表曝机被应用于氧化沟,形成了 Carrousel 氧化沟。标准 Carrousel 氧化沟池型如图 2,主要设计用于有机物去除、硝化及延时曝气。

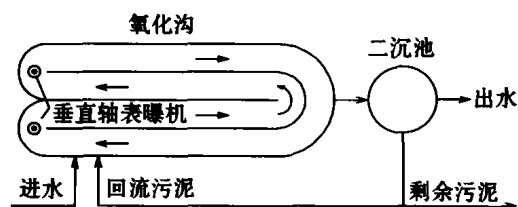


图 2 标准 Carrousel 氧化沟

Carrousel 2000 氧化沟是一种反硝化脱氮工艺,通过预反硝化区(前置缺氧段,其所需要的容积取决于进水水质及所要求的氮去除率,一般占氧化沟体积的 15%)的设计,在缺氧条件下进水与一定量的混合液混合进行反硝化脱氮。沟内配有相当数量的表曝机,实现对混合液的充氧、推流和混合作用,同时从节能和控制角度出发,沟内还装有一定数量的推进器,保证低负荷停曝时,混合液与进水充分混合和保持悬浮状态。

Carrousel 3000 氧化沟是进行一体化设计的集选择器、厌氧区和好氧区为一体的新系统。其突出特点是专利设计的 Oxyrator 表曝机的应用,使池深

加大,占地更小,运行方式灵活。该池型能够在满足有机物去除、反硝化脱氮的基础上,兼具除磷的功能。

3) Orbal 氧化沟

Orbal 氧化沟是一种多级氧化沟,其特点是:曝气设备是有水平轴的竖直转碟,碟片经过水力学设计达到最佳的充氧和推流作用;由同心圆形的多沟槽构成(多为三沟道),见图 3。各沟道均表现为单个反应器的特征,这使得 Orbal 氧化沟的推流特征更加突出。在各个沟道之间存在明显溶解氧梯度,对于有机物的去除、高效脱氮、防止污泥膨胀和节约能耗等,都是非常有意义的。

对于三沟道的 Orbal 氧化沟,外沟、中沟和内沟的溶解氧一般控制在 $0 \sim 0.5 \text{ mg/L}$ 、 $0.5 \sim 1.5 \text{ mg/L}$ 以及 $1.5 \sim 2.5 \text{ mg/L}$,体积比为 50:33:17;供气量之比为 65:25:10。转碟后设导流板以防止污泥沉淀,有效水深可达 4.5 m。外沟内供气量通常占总气量的 65% 左右,但是由于外沟容积大,同时发生了高度的生化反应,溶解氧一般在 0.5 mg/L 以下,这种亏氧条件下的供氧方式使氧利用率和充氧效率更高。

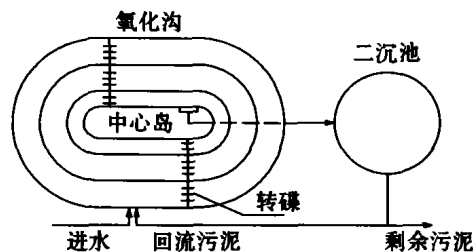


图 3 Orbal 氧化沟

Orbal 氧化沟进水进入外沟,同回流污泥进行混合,使回流污泥中的硝态氮能利用原水中的有机碳源,在外沟整体较低的溶解氧浓度下进行反硝化,这种脱氮方式能同时节省用于硝化和碳化的曝气量,同时可以不必考虑反硝化外加碳源。中沟作为摆动沟道,使系统更为稳定,内沟保持较高的溶解氧,以保证碳化和硝化完全。

4) 一体化氧化沟

也称为合建式氧化沟。以上介绍的 Pasveer、Carrousel 以及 Orbal 氧化沟都是设有独立的二沉池,而一体化氧化沟是集曝气、沉淀、泥水分离和污泥回流功能为一体,无需建造单独的二沉池的一类氧化沟。处理流程更为简化,占地面积省,是一体化氧化沟的突出特点。一体化氧化沟同时也存在一些问题,如沉淀效果不同程度上受沟内水流态影响;排泥浓度低,相应的泥区构筑物增大;同时满足曝

气和沉淀工况较困难等.

①BMTS 氧化沟

Burns and McDonnell 技术咨询公司研究开发了 BMTS 沉淀器并应用于氧化沟中.如图 4 所示.设有沉淀区的一侧的沟宽明显大于另一侧,混合液被强制从沉淀区底部流过,部分混合液均匀进入沉淀区,澄清水通过溢流堰或穿孔管外排,污泥自动返回混合液中.

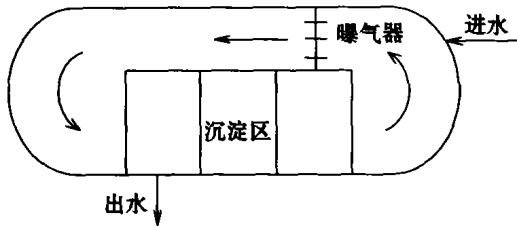


图 4 BMTS 氧化沟

②船式一体化氧化沟

船式沉淀器被放置在氧化沟中,所占氧化沟容积通常在 8% ~ 11% 左右.进入沉淀器的混合液仍处于好氧状态,沉淀污泥能迅速回流.

③侧沟式氧化沟

由于在氧化沟中内置的 BMTS 以及船式沉淀器等不仅影响氧化沟的断面尺寸及容积大小,同时沉淀效果受氧化沟内水流态影响较大.基于此开发的外置分离装置(如图 5 所示的侧沟固液分离器),具有占据氧化沟断面小,阻力损失小,水力条件好等优点,克服了内置分离器的许多弊端.

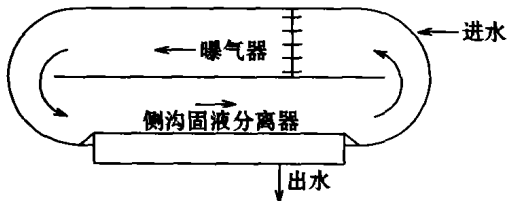


图 5 侧沟式氧化沟

2.2 交替工作式氧化沟

交替工作式氧化沟一般不单独设二沉池,采用在不同时间段内设计氧化沟系统的一部分交替作为沉淀池使用;沟内水流方向一般会发生改变.这种设计使交替工作式氧化沟基建费用低,运行管理方便.交替工作式氧化沟主要有 A 型、VR 型、D 型/DE 型和 T 型 4 种形式.

1)A 型氧化沟

A 型氧化沟是单沟交替工作式氧化沟,系统由单沟构成,分别设计曝气、沉淀(整个氧化沟作为沉淀区)、排水 3 个工况.一般适于水量较小、间歇排

水的条件下使用.

2)VR 型氧化沟

VR 型氧化沟是实现了连续进出水的单沟交替式氧化沟.其特点是将曝气沟渠分成容积相等的 2 部分,定时改变曝气器的旋转方向来改变沟内水流方向,使两部分池体交替地作为曝气池和沉淀池使用,不设二沉池和污泥回流系统.如图 6 所示:①、②为单向活拍门,③、④为可起闭的出水堰.当曝气器顺时针旋转时,拍门①通过水流压力自动关闭,拍门②会被水流冲开,外侧池体作为曝气池,内侧池体作为沉淀池使用,出水堰③工作;当曝气器逆时针旋转时,内侧池体作为曝气池,外侧池体作为沉淀池使用,出水堰④工作.

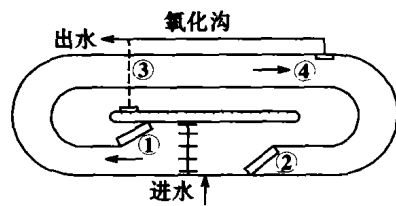


图 6 VR 型氧化沟

3)D 型氧化沟及 DE 型氧化沟

D 型氧化沟由池容完全相同的 2 个氧化沟组成,两池串联运行,交替作为曝气池和沉淀池,控制运行工况可以实现硝化和一定的反硝化,见图 7.在两个池交替作为曝气池和沉淀池的过程中,存在一个过渡轮换期,在过渡轮换期内,转刷全部停止工作.转刷的实际利用率低,是 D 型氧化沟的一个主要缺点.

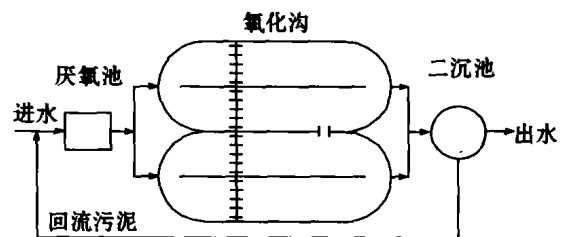


图 7 DE 型氧化沟

DE 型氧化沟是在 D 型氧化沟基础上为强化生物脱氮而开发的新工艺.DE 型氧化沟为半交替式氧化沟,兼具连续工作式和交替工作式的特点.DE 型氧化沟设有独立的二沉池和污泥回流系统,可以实现曝气和沉淀的完全分离;氧化沟内交替进行硝化和反硝化.两个氧化沟相互连通,串联运行,可交替进出水,沟内曝气转刷一般为双速,高速工作时曝气充氧,低速工作时以推动水流为目的.通

过两沟内转刷交替处于高速和低速运行,可使两沟交替处于好氧和缺氧状态,从而达到脱氮的目的.在 DE 型氧化沟前增设一厌氧池,可以实现强化生物除磷.

4) T 型氧化沟

由于 D 型氧化沟的设备闲置率高,在此基础上开发了 T 型(三沟式)氧化沟. T 型氧化沟为三沟交替工作式氧化沟系统.在三沟中,有一沟一直作为曝气池使用,因而提高了转刷的利用率.通过工况设计,设备利用率大大提高.典型工艺见图 8,氧化沟前设置配水井,每沟之间相互贯通,两侧沟上设有可调出水堰,剩余污泥一般从中间沟道排出. T 型氧化沟运行灵活,曝气沉淀均在沟内完成,无需设二沉池和污泥回流.

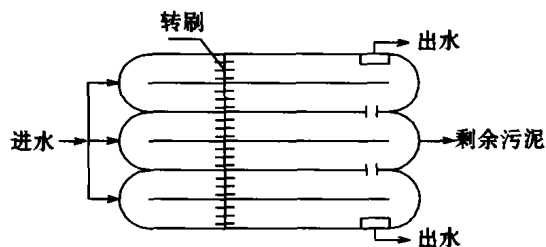


图 8 T 型氧化沟

T 型氧化沟中存在三沟道污泥浓度不均匀的现象,即普遍存在侧边沟污泥浓度远大于中间沟的情况,这是三沟式氧化沟硝化/反硝化运行模式的必然结果.可以通过延长反硝化阶段的时间来改善污泥浓度分布不均的情况.采用侧沟沉淀,由于受反应器流态的影响,出水中悬浮物较多,沉淀效果不好.可以通过控制运行工况和改善沉淀环境来解决沉淀问题.

3 氧化沟生物脱氮技术

随着水体富营养化程度的日益加剧,国家对于氮、磷等植物营养性物质的排放标准日益严格(《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB 18918—2002)》),针对已建成的城市污水处理厂的脱氮除磷运行改造的研究成为热点.

3.1 氧化沟 SND 途径脱氮

根据传统的生物脱氮理论,硝化反应在好氧条件下进行,反硝化反应在缺氧条件下完成.传统生物脱氮工艺一般是硝化和反硝化在两个独立的具有不同 DO 质量浓度的反应器中(如 A/O 工艺)进行,或者在同一个反应器内造成 DO 质量浓度在时间或者空间上(如 SBR,间歇曝气的各类反应器等)的梯度变化,以营造生物脱氮的条件.传统脱氮工

艺的缺点是流程长,运行操作繁琐,设备设施庞大,占地大,投资及运行费用高等.

同时硝化反硝化理论突破了传统的脱氮理论,使硝化和反硝化两个过程在同一个反应器内实现^[2,3].其优点是反应器构型更为简化,节约碳源或者不需要外碳源投加,而碳源不足已成为困扰许多要求生物去除营养物质的城市污水处理厂的一大问题.同时硝化反硝化为简化生物脱氮工艺,降低投资和运行费用提供了可能.

氧化沟工艺一般都采用点源表面曝气设备,如转刷、转碟等.当混合液从曝气装置中喷洒出来时,曝气池水面会进行高速的氧传质,发生硝化作用;而后混合液循环远离曝气区域并进入池底部,随着氧传质速率降低及微生物耗氧作用,引起溶解氧降低,这时在曝气区域形成的硝态氮就会发生反硝化.

污水处理厂的大量的运行数据显示了在不设置独立缺氧区的氧化沟内存在同时硝化反硝化现象.1985 年 Rittmann 和 Langelaud 在工业规模的氧化沟内成功的实现了同时硝化和反硝化. Littleton^[4] 研究了美国 7 座日处理量从 7 000 ~ 45 000 m³ 不等的氧化沟,数据显示同时硝化反硝化不同程度的发生在上述污水厂中.笔者在中试规模的 Orbal 氧化沟内,也成功获得了低碳氮比生活污水的同时硝化反硝化高效脱氮.

3.2 同时硝化反硝化产生机理

目前对于 SND 现象的解释主要是来源于传统的脱氮理论和生物学 2 方面.

基于传统的生物脱氮理论之上的 SND 现象机理有 2 方面内容.①宏观环境理论:由于充氧装置充氧不均匀和反应器的构造原因,造成生物反应器混合形态不均匀,在反应器内形成了缺氧区域而形成了 SND.②微环境理论:受微生物种群结构、基质分布和生物代谢反应的不均匀性,以及物质传递变化等因素的相互作用,缺氧(或厌氧)段可以在活性污泥菌胶团内部形成^[5,6].许多研究以数学模型研究絮体结构和基质扩散对于缺氧段 SND 的形成影响. Bakti 和 Dick(1992)以及 Du(1996)^[7]等都提出了在活性污泥絮体内有关基质扩散的限制模型.很多模型都很好的描述了溶解氧的扩散限制,但是对于作为电子供体和电子受体的有机物和硝态氮(或亚硝态氮)如何进入絮体中心部分的缺氧区都没有令人满意的解释.

生物学方面,近年来国内外许多的研究和报道已经充分证明了污水生物处理系统中新的菌种存

在以及对于已知菌种功能的新认识,已经证实自养氨氧化菌(如 *Nitrosomonas*)在没有氧气存在的条件下,能利用氨氮作为电子供体,利用亚硝态氮作为电子受体产生氮气^[8]。一些异养菌(如 *Pantotropha paracoccus* 等)能够采用同 *Nitrosomonas* 类似的途径氧化氨氮产生亚硝态氮;同时还有一些异养菌在氧气存在的条件下仍然能够进行反硝化。一些聚磷菌可以利用硝态氮作为最终的电子受体,在缺氧条件下进行吸磷,实现同时除磷脱氮^[9]。

通过分析前人研究成果并结合模型试验研究的数据分析,笔者认为,点源曝气方式及曝气池构型所导致的宏观缺氧环境和微生物絮体微环境是氧化沟内同时硝化反硝化的主要形成条件,而新的微生物菌种的作用并不占主导地位。同其他生物脱氮新工艺(如短程硝化反硝化,厌氧氨氧化等等)相比较,同时硝化反硝化更容易实现和稳定,并且已经在生产中得到应用和发展。

3.3 研究热点和前景展望

氧化沟还有许多问题有待于深入研究:如同时硝化反硝化优化控制条件的研究;曝气设备的性能和改进;流态的研究;污泥沉积问题;强化氧化沟生物除磷等。

氧化沟工艺流程简单,基建投资和运行费用低,处理效果稳定,通过优化设计和运行控制可以

实现高效的脱氮除磷运行,是适合我国国情的,值得大力推行和深入研究的污水处理工艺。

参考文献:

- [1] 张自杰. 排水工程(下)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
- [2] KLANGDUEN P, KELLER J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND)[J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1999, 39(6):61-68.
- [3] SEVIOUR R J, BLACKALL L L. *The Microbiology of Activated Sludge*[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [4] DAIGGER G T, LITTLETON H X. Characterization of Simultaneous nutrient removal in Staged, Closed loop bioreactors[J]. *Water Environment Research*, 2000, 72:330-339.
- [5] BACCARI M, DIPINTO A C. Effects of dissolved oxygen and diffusion limitations on nitrification kinetics[J]. *Wat. Res.*, 1992, 26(8): 1099-1104.
- [6] SCURAS S, DAIGGER, GLEN T. Modeling the activated sludge floc microenvironment[J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1998, 37(4-5):243-250.
- [7] DU Y G, TYAGI R D. Neural Network Analysis of the diffusion limitations in activated sludge flocs[J]. *Process Biochemistry*, 1996, 31(8): 753-763.
- [8] VERSTRAETE W, PHILIPS S. Nitrification - denitrification processes and technologies in new contexts[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102(1):717-726.
- [9] 王亚宜,彭永臻. A₂N 连续流双污泥系统除磷脱氮试验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(8):1046-1049.

(上接 426 页)

脂酰肌醇转换的影响[J]. 第一军医大学学报, 1995, 15(3): 211-212.

[39] 曾淑君,沈宝莲,文良珍,等. 云芝糖肽对裸鼠人肺腺癌抗癌作用的研究[J]. 中国药理学通报, 1995, 11(1):46-48.

[40] MITAMURA T, SAKAMOTO S, SUZUKI S, *et al.* Effects of lentinan on colorectal carcinogenesis in mice with ulcerative colitis[J]. *Oncology Reports*, 2000, 7:599-601.

[41] 黄益丽,廖鑫凯,李清彪,等. 香菇多糖的生物活性[J]. 生命的化学, 2001, 21(5):371-373.

[42] 尹卫平,陈宏明,王天欣,等. 具有抗癌活性的一个新的香豆素化合物[J]. 中草药, 1997, 28(1):3-4.

[43] ISSELL B F. Etoposide (VP-16). *Current Status and New Developments*[M]. New York: Academic Press Inc, 1984. 56-62.

[44] PAUL K, AROMAA A, MAATELA J, *et al.* Vitamin E and cancer prevention[J]. *Am. J. clin. Nutr.*, 1991, 53:283-285.

[45] PETER B, KAUFMAN, LELAND J, *et al.* Natural products from plants[M]. Boca Raton: CRC press, 1999.

[46] BLOCK G. Vitamin C and cancer prevention[J]. *Am. J. clin. Nutr.*, 1991, 53:270-272.