

城市污水生物脱氮除磷技术进展

Progress of Biological Removal of Nitrogen and Phosphorus in City Sewage

黄明, 张学洪, 王敦球, 陆燕勤, 蒋荣华

Huang Ming, Zhan Xuehong, Wang Dunqiu, Lu Yanqing, Jiang Ronghua

(桂林工学院资源与环境工程系, 广西桂林 541004)

(Department of Resource & Environment Engi., Guilin Institute of Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:在阐述城市污水生物脱氮除磷机理的基础上,分析生物脱氮除磷的MSBR工艺、UCT工艺和BCFS工艺。认为随着近代生物学的发展以及对生物技术的掌握,目前生物脱氮除磷技术的研究主要集中在同时硝化反硝化技术、短程硝化反硝化技术、反硝化除磷技术和厌氧氨氧化技术。随着生物脱氮除磷技术研究的深入,工艺简单、处理效率高、能耗低的组合新工艺将成为脱氮除磷工艺的发展趋势。

关键词:生物脱氮 脱氮除磷 机理 工艺

中图分类号:X703

Abstract: The mechanisms of of the biological removal of nitrogen and phosphorus are explained. The technologies of MSBR, UCT and BCFS are analyzed. The new technologies such as simultaneous nitrifying and anti-nitrifying, short-time nitrifying and anti-nitrifying, anti-nitrifying removal of phosphorous and anaerobic ammoniac oxygen are discussed. The removal technology of nitrogen and phosphorous will be developed following the way of simple, high effective and low consuming of energy.

Key words: biological removal of nitrogen, removal of nitrogen and phosphorus, mechanism, technology

长期以来,城市污水在处理过程中忽视对氮、磷等营养物质的处理,大量的未经过处理或处理不充分的含氮、磷废水外排,严重影响了地表水质,造成水体富营养化,所以城市对废水的脱氮除磷要求越现紧迫。一直以来生物法是人们普遍采用的脱氮除磷技术,多年的实际运用过程中,传统的生物法技术也得到很好的完善,出现了一系列的在脱氮、除磷及除磷脱氮方面有独特效果的处理技术和工艺,如:A²/O、VIP^[1]等。本文介绍了近年来在同时硝化反硝化技术、短程硝化反硝化技术、反硝化除磷技术等方面的研究进展,评述了MSBR工艺、UCT工艺、BCFS工艺^[2]等几种国内外新工艺。认为生物脱氮除磷技术的继续优化和完善符合我国的实际情况,是一个发展方向。工艺简单、效率高、能耗低的组合新工艺将是脱氮除磷工艺的发展趋势。

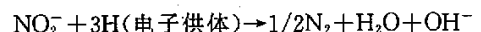
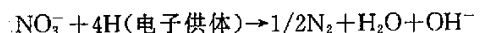
1 污水生物脱氮除磷的机理

1.1 生物脱氮机理

生物脱氮是通过硝化和反硝两个过程实现的。

硝化作用通常被定义为由氨到硝酸的生物氧化过程,硝化是化能自养过程,一般分为两步进行,第一步由亚硝酸细菌将氨氮转化为亚硝酸盐(NO₂⁻),这一过程称为氨化作用,这是有机氮转化为氨的生物转化形式,是矿化有机氮的第一步。第二步由硝酸细菌进一步将亚硝酸盐氧化成硝酸盐(NO₃⁻)。这两类细菌统称为硝化细菌,它们利用无机碳化合物加CO₃²⁻、HCO₃⁻和CO₂作为碳源,从NH₃、NH₄⁺或NO₂⁻的氧化反应中获得能量。

反硝化是异养型兼性厌氧菌,在缺氧的条件下,以硝酸盐氮为电子受体,以有机物为电子供体进行厌氧呼吸,将硝酸盐氮还原为N₂或N₂O,同时降解有机物^[3,4,5]。其反应过程可以表达为:



不过最近人们也发现,在反硝化过程中还存在着同时反硝化反应,即NO₂⁻、NO₃⁻转化为NH₃-N以合成细胞物质的反应,但是反硝化细菌通过同化反硝化反应使氮转化为细菌氮化物所去除的氮相对较少,而且对其机理的研究也才刚刚开始。

1.2 生物除磷机理

目前普遍认可的生物除磷理论是“聚合磷酸盐 (Poly-P) 累积微生物”-PAO (Poly-phosphate Accumulating Organisms) 的摄磷释磷原理^[6,7]。该类微生物均属异养型细菌, 现已报道的种类包括: 不动杆菌属、肠杆菌属、着色菌属、脱氮微球菌属等^[8]。在厌氧条件下, 聚磷菌消耗糖元, 将胞内的聚磷 (Poly-P) 水解为正磷酸盐释放到胞外, 并从中获得能量, 同时将环境中的有机碳源 (挥发性脂肪酸 VAF) 以胞内碳源存贮物 (主要为 PHB 聚- β -羟基丁酸) 的形式贮存。在好氧条件下, 聚磷菌以 O_2 为电子受体, 演化胞内贮存的 PHB 及利用产生的能量过量地从环境中摄磷, 以聚磷酸高能键的形式存贮。通过排放高磷剩余污泥实现去除磷的目的。

2 脱氮除磷工艺

从生物脱氮除磷的机理分析来看, 生物脱氮除磷工艺基本上包括厌氧、缺氧、好氧三种状态。最初的脱氮和除磷是在不同的生物处理工艺中实现的, 而脱氮除磷组合工艺也是前人在不断深入研究脱氮工艺中意外发现的。1932年 Wuhrman^[3]利用内源反硝化机理开发了后置反硝化工艺, 这为以后的脱氮除磷工艺的发展奠定了基础。20世纪60年代, Luczak 和 Ettinger 首次提出前置的反硝化工艺, 20世纪70年代, Barnard 在 Luczak 和 Ettinger 的基础上提出了改进型工艺, 即 A/O 工艺^[9]。在进一步研究中发现当前置反硝化池内存在厌氧区时, 系统兼有明显的除磷功能, 于是 Barnard 又提出了能同时实现脱氮除磷的 Phoredox (即五段 Bardenpho) 工艺。在该工艺基础上取消第二级缺氧、好氧池, 形成了目前城市污水处理厂运用普遍的 A₂/O 工艺^[3]。此后, 脱氮除磷被统一在一个系统中, 简化了污水处理的操作, 同时也提高了处理效率。

近年来随着对污水脱氮除磷机理的研究不断深入, 以及对现有工艺运行经验的总结, 人们找到了一系列的措施和方法对现有系统的不足加以改进, 并且开发出了一些新型的脱氮除磷工艺。如改良 A₂/O 工艺、改良 UCT 工艺、VIP 工艺、MSBR 工艺、新型氧化沟技术、BCFS 工艺等^[10-12]。

2.1 改良 UCT 工艺及 VIP 工艺

UCT^[1] (University of capetown) 工艺是南非开普顿大学开发的一种类似 A₂/O 工艺的脱氮除磷工艺^[13]。不同之处在于沉淀池污泥是回流到缺氧池而不是直接回流到厌氧池, 在缺氧池中反硝化作用大

大降低了混合液中的硝酸盐浓度, 从而降低了由缺氧段回流到厌氧段污泥中的硝酸盐含量, 减少了对系统除磷效果的影响。实际运行发现, 当进水 TKN/COD 较高时, 缺氧区无法实现完全的脱氮, 仍有部分硝酸盐进入厌氧区。因此, 提出了改良的 UCT 工艺 (MUCT), 如图 1 所示, 改良后的工艺将缺氧段分为两大部分, 前一部分接受二沉池回流污泥, 后一个接受好氧区硝化混合液, 进一步减少了硝酸盐进入厌氧区的可能。国内深圳市南山污水处理厂在设计上采用了这一工艺^[14]。VIP 工艺是 UCT 工艺的另一种改进型, 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的, 形成了有机物的梯度分布, 从而提高了厌氧池释磷和好氧池摄磷的速度, 且反应器总容积小于 UCT 工艺。



图 1 改良 UCT 工艺

2.2 MSBR 工艺

MSBR 工艺实质上是 SBR 和 A₂/O 工艺的组合, 如图 2 所示, 它是在序批式反应器的启发下, 由 C Q Yang 等人结合传统活性污泥法技术研究开发的^[15]。MSBR 是一种介于连续流和序批式反应之间的工艺模型。污水和脱氮后的活性污泥一并进入厌氧区, 泥水混合液交替进入缺氧区、好氧区和 SBR 池, 出水由空气堰排出。厌氧区有机物充足, 硝酸盐含量低, 这为聚磷菌的释磷提供了良好的环境。目前 MSBR 系统主要在北美和南美应用, 国内的同济大学也正在作进一步的研究^[16]。基于 SBR 基础上开发的其它工艺还有 CAST (内循环活性污泥法) 和 TCBS (连续流 SBR 法) 工艺。其中 CAST 工艺在主反应区 (SBR 池) 前设置了生物选择器, 能有效抑制丝状菌的繁殖, 提高了系统的稳定性, 处理出水 TKN < 5mg/L, 除磷效果 70%~80%^[16]。

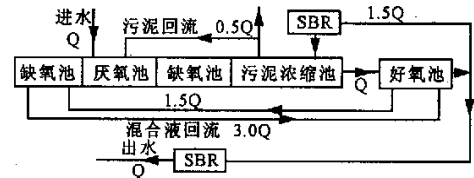


图 2 MSBR 工艺

2.3 BCFS 工艺

基于反硝化除磷理论, 为了最大程度地创造 DPB (兼性反硝化细菌) 的富集条件, 荷兰代尔夫特工业大学 (TU Delft) Kluiver 生物技术实验室开发出了一种变型的 UCT 工艺—BCFS^[17]。从图 3 可

知,从流程上看BCFS工艺在主流线上较UCT工艺增加了2个反应池,第一个增加的反应池介于UCT工艺的厌氧与缺氧池之间,回流污泥与来自厌氧池的混合液充分混合,吸附剩余COD,抑制丝状菌生长。第二个反应池是混合池,介于UCT工艺缺氧池与好氧池之间,目的是形成低氧环境以获得同时硝化与反硝化,从而保证出水含有较低的总氮浓度。在混合液内循环方面,BCFS工艺增加了2个内循环 Q_B 和 Q_C , Q_B 起到辅助回流污泥,向缺氧池补充硝酸氮的作用,而内循环 Q_C 的设置能在好氧池与混合池间建立循环,增加硝化或同时硝化与反硝化的机会,为获得良好的出水氮浓度创造条件。BCFS工艺突出了反硝化除磷在系统中的作用,将反硝化脱氮与生物除磷有机地合二为一,使得整个工艺节省了大量的能源和资源,因此BCFS工艺也被誉为可持续发展的污水处理技术。

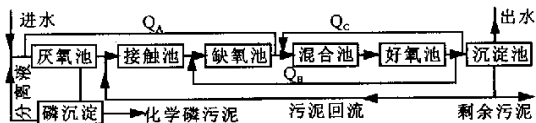


图3 BCFS工艺图

3 生物脱氮除磷技术研究进展

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基础上的,这使得现有的一些工艺在运行中存在着明显的不足。首先性质差异较大的微生物同在一个系统中相互影响,制约了工艺的高效性和稳定性。另一方面,现有工艺中普遍增设了多重污泥和混合液回流系统,增加了系统的动力开支和运行的复杂性。随着近代生物学的发展以及人们对生物技术的掌握,脱氮除磷技术正向着生物学方向发展,促进工艺改革。近年来为突破传统脱氮除磷理论的束缚,实现高效脱氮除磷的目的,国内外学者展开了广泛的研究,目前研究主要集中在同时硝化反硝化技术、短程硝化反硝化技术、反硝化除磷技术和厌氧氨氧化技术领域^[18~21]。

3.1 同时硝化反硝化技术

近几年许多研究都发现了硝化反硝化同时存在的现象,尤其是有氧条件下的反硝化,确实存在于不同的生物处理系统中。如氧化沟、SBR工艺、间歇曝气反应器工艺。研究者就此进行了大量的研究^[7,22],认为系统中微环境的存在是其最主要的原因。另外,从微生物发展的角度来看,存在目前尚未被认识的微生物菌种(如好氧条件下的反硝化细菌)使硝化反硝化能同时发生。对于这一机理尚未形成统一的认

识,研究也还处于探索阶段。

3.2 短程硝化反硝化技术

传统的硝化-反硝化原理是:氨氮在亚硝化菌的作用下氧化成 NO_2^- ,然后被硝化菌进一步氧化成 NO_3^- ,最后通过异养反硝化菌的作用将 NO_3^- 还原成 N_2 。但许多实验证明可以按照氨氮-亚硝酸盐-氮气过程实现短程硝化反硝化脱氮,即将氨氮氧化控制在亚硝化阶段,然后进行反硝化。这一过程减少了硝化中的产酸量,从而减少了碱的投加量;节省了氧耗和动力消耗。荷兰Relft技术大学就应用该技术开发出了SHARON工艺,并且已荷兰鹿特丹的Dokhaven废水处理厂建成投入运行^[23~25]。短程硝化反硝化技术缩短了脱氮反应的历时,节省了大量开支,所以在这一领域的研究进展也成为脱氮技术的一个亮点。但有必要指出的是,经过亚硝酸盐型生物脱氮工艺处理后的出水,可能含有较高的亚硝酸盐,所以工艺实际运行时必须进行严格的监控。

3.3 反硝化除磷技术

研究发现^[26,27],一种兼性厌氧反硝化除磷菌(DPB)可以在缺氧条件下利用硝酸盐作为电子受体,氧化胞内贮存的PHA,并从环境中摄磷实现同时硝化和过度摄磷。目前针对这类细菌的研究仍在继续,而人们利用这一现象开发的Dephanox工艺,有效解决了除磷系统反硝化碳源不足的问题,并且降低了系统的能源消耗。但由于进水中的氮和磷的比例常常波动较大,很难恰好满足缺氧摄磷要求的氮磷比,所以这一技术运用于实践时,将给系统控制带来较大困难。

3.4 厌氧氨氧化技术

厌氧氨氧化技术主要是指在厌氧状态下,以 NO_2^- 、 NO_3^- 作为电子受体,将氨转化为氮气。利用这一技术开发的工艺主要是荷兰Delft技术大学开发的厌氧氨氧化工艺^[23],但近来Jettern等人将厌氧氨氧化工艺与SHARON工艺结合,对污泥硝化出水进行处理,研究结果表明氨氮的去除率达到83%,氧的需要量仅为 $17 \text{ kg O}_2/\text{kgN}$,而且几乎不需要外加碳源^[23,24,28,29]。这一技术及其相关工艺的出现从一定程度上解决了传统硝化反硝化工艺存在的问题,但该技术的研究还处于开始阶段,要真正应用于实践仍需作进一步的研究。

4 结束语

我国对生物脱氮除磷技术的研究起步较晚,投入的资金也十分有限,研究水平仍处于发展阶段。目

前在生物脱氮除磷技术基础理论没有重大革新之前,充分发挥利用现有工艺组合,大力开发技术成熟、经济高效且符合国情的工艺是今后我国脱氮除磷工艺发展的主要方向。纵观生物脱氮除磷技术的发展,脱氮除磷工艺得到了不断改进和完善,随着生物学机理的深入揭示和相关学科的发展及渗透,也使得生物脱氮除磷技术得以不断的革新和发展,新工艺层出不穷。这些新型工艺的出现为脱氮除磷工艺提供了新的研究思路。可以预计,工艺简单、处理效率高、能耗低的组合新工艺将是脱氮除磷技术的主要研究方向。

参考文献:

- 汪大翠,雷乐成.水处理新技术及工程设计.北京:化学工业出版社,2001.
- 郝晓地,汪慧贞.可持续除磷脱氮 BCFS 工艺.给水排水,2002,28(9):7~10.
- 俞群辉,袁国文.水和废水技术研究.北京:中国建筑工业出版社,1992.457~500.
- 张自杰主编.排水工程下册.第4版.北京:中国建筑工业出版社,2000.
- 邓荣森,郎建,王涛,等.城市污水生物除磷脱氮机理研究探讨.重庆建筑大学学报,2002,24(3):106~110.
- 陆轶峰.城市污水生物脱氮除磷常规工艺分析.云南科学,2002,21(1):47~49.
- Mike S M Fettes, Svein J Horn, Mark C M, et al. Towards a more sustainable municipal waste water treatment system. Wat Sci Tech, 1997, 35(9):171~180.
- 郭劲松,黄天寅.生物脱氮除磷工艺中的微生物及其相互关系.环境污染治理技术及设备,2000,1(2):8~13.
- 郑兴灿,李亚新编著.脱氮除磷技术.北京:中国建筑工业出版社,1998.
- 刘章富,熊杨,侯铁,等.同步生物除磷脱氮的几种实用新工艺.中国给水排水,2002,18(9):65~68.
- 龚元华.污水生物脱氮除磷技术的现状与发展.工程与技术,2000,7,23~25.
- 黄翔峰,李春鞠,陈树斌.城市污水生物脱氮除磷技术的发展.中国沼气,2000,18(4):9~15.
- Siebritz I P, et al. Observation supporting phosphorus removal by biological excess uptake review. Water Sci Tech, 1983, 15:3~4.
- 聂福胜,罗万申.深圳市南山污水处理厂除磷脱氮工艺设计.中国给水排水,2002,18(8):53~55.
- 李探微,彭永臻,高旭,等.一种新的污水处理技术—MSBR法.给水排水,1999,25(6):10~12.
- Mervyn C G, 朱明权, Wutscher W. 循环式活性污泥法(CAST)的应有与发展.中国给水排水,1996,12(6):4~10.
- 郝晓地,汪慧贞, Mark VanLoosdrecht. 可持续除磷脱氮 BCFS 工艺. 给水排水, 2002, 28(9):7~10.
- 陆轶峰.城市污水生物脱氮除磷常规工艺眼界.云南科学,2001,20(增刊):70~73.
- 林燕,杨永哲,袁林江,等.生物除磷脱氮技术的研究动向.中国给水排水,2002,18(7):20~22.
- 董春娟,潘青业.生物脱氮除磷工艺的现状与发展趋势.太原大学学报,2002,9(3):41~45.
- 刘俊新,丛丽.生物膜与活性污泥结合工艺脱氮除磷研究.中国给水排水,2000,16(12):1~5.
- Fdez-Polanco F, Real F J, Hirata P A, et al. Behaviour of an anaerobic/aerobic pilot scale fluidized bed for the simultaneous removal of carbon and nitrogen. Wat Sci Tech, 1994, 29(10-11):339~346.
- Linping Kual, Willy Verstraete. Ammonium removal by the oxygen-limited autotrophic nitrification-denitrification system. Apply Environ Microbiol, 1998, 64(11):4500~4506.
- Jetten M S metal. Toward a more sustainable municipal waste water treatment system. Wat Sci Tech, 1997, 35(9):171~180.
- Helmer C, et al. Nitrogen loss in a nitrifying biofilmsystem. Wat Sci Tech, 1999, 39(7):13~21.
- Baker P S, Dold P L. Denitrification behavior in biological excess phosphorus removal activated sludge system. Water Research, 1996, 30:769~780.
- Kubat T, Van Loosdrecht, M C M, et al. Occurrence of denitrifying phosphorus removing bacteria in modified UCT-type wastewater treatment plants. Water Research, 1997, 31(4):777~786.
- Mike S M Jetten, et al. The anaerobic oxidation of ammonium FEMS. Microbiology Reviews, 1999, 22:421~437.
- Narc Strous, Eric Van Gerven, PingZheng, et al. Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) process in different reactor configurations. Wat Sci Tech, 1997, 31(8):1955~1962.

(责任编辑:黎贞崇)