

问题探讨

颗粒污泥积磷现象和推测

王文焄

(煤科集团杭州环保研究院,浙江 杭州 311201)

摘要:颗粒污泥除磷的研究已取得重大进展,发现了不同于普通活性污泥法的“积磷”现象。本文提出了反映颗粒污泥“积磷”现象和机理的两个假设,认为:积磷的最终产物将是无机化物质;不专门排泥也能实现颗粒污泥除磷。

关键词:颗粒污泥;积磷;假设;无机化物质

中图分类号:TU992.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8759(2015)04-0039-03

SPECULATION ON PRECIPITATION OF PHOSPHATE PHENOMENON IN GRANULAR SLUDGE

WANG Wen-tao

(CCTEG HangZhou environment protection institution)

Abstract: Significant progress has been made in granular sludge for removing phosphorus, and the phenomenon of "phosphorus precipitation" has been discovered, which is different from that of the conventional activated sludge. In this paper, two presumptions illustrating the phenomenon and mechanism of phosphorus precipitation has been rendered as: the phosphorus will finally been converted into inorganic substances; phosphorus removal can be realized without discharging sludge.

Key words: Granular sludge; Precipitation of Phosphate; Presumption; Inorganic substances

好氧颗粒污泥是一种由于生物自凝聚作用形成的颗粒状污泥,具有沉降性好、在反应器中保持很高的生物量、抗冲击负荷能力强、节约空间并具有生物膜的特点(但不需填料)等优点,成为了废水生物处理技术领域的研究热点^[2]。Mishima(1991)首先在纯氧曝气升流式反应器发现反应器中的污泥具有良好沉降性能、粒径在 2~8 mm 之间的好氧颗粒污泥;Morgenroath、Beun 和 Peng 分别在 SBR 中实现了污泥好氧颗粒化^[2-4]。颗粒污泥由于其结构的特殊性,其颗粒内部存在同步硝化反硝化、反硝化除磷过程^[1-2, 7-8],能更有效的利用底物,因而对氮、磷有较高的去除率;颗粒污泥工艺产生的剩余污泥的具有更好的脱水性^[1-2]。

近年来,许多研究人员开展了颗粒污泥除磷的研究。Lin 等(2003)利用 SBR 反应器中分别培养了 P/COD 范围从 1/100 到 1/10 具有聚磷作用的颗粒污泥,在厌氧阶段伴随着溶解性碳源的吸收放磷,在好氧阶段快速吸磷。结果表明,随着 P/COD 的增大,磷的去除率呈下降趋势^[5]。申沛等(2007)采用 SBR 工艺经过 450 d 培养出具有同步硝化反硝化及除磷特征的颗粒污泥,发现颗粒中聚磷菌和聚糖菌均占优势,其中聚磷菌分布在表层厚度 200 um 的区域而竞争者聚糖菌位于颗粒核心^[10];刘小英、于莉芳等(2007)研究了接种污泥对 SBR 生物除磷系统污泥颗粒化的影响,采用不同结构的絮体(有丝状菌、无丝状菌)作为接种污泥,结果表明具有丝状菌的絮体能更快的颗粒化并具有更高的除磷能力^[11];唐艳葵等借助 SBR,采用厌氧/好氧/缺氧的运行方式,对富集的以反硝化

收稿日期:2015-03-10

作者简介:王文焄(1985-),男,现从事工业水生物处理技术研究。

聚磷菌 (DNPAOs) 为优势菌的活性污泥进行培养。当以厌氧-缺氧方式运行时系统具有良好的反硝化除磷效果, 缺氧结束时对磷的去除高达 95%, 对氨氮的去除率达到 96%。且在缺氧阶段投加 NO_3^--N 可提高 DNPAOs 的吸磷速率, 所投加的 NO_3^--N 作为电子受体被快速利用; 当缺氧段不投放 NO_3^--N , 系统仍可进行反硝化吸磷, 电子受体可能来自地溶解氧浓度下的氨氧化产物^[12]。

1 颗粒污泥“积磷”现象的提出

俞汉青等(2008)配制含有 40 mg/L 的 Ca^{2+} 的废水培养出好氧颗粒污泥, 并对钙元素在颗粒污泥中的空间分布进行研究, 通过 EDX 得出颗粒污泥钙元素的空间分布状况, 发现钙元素主要集中在颗粒污泥核心区域(厚度约 200~400 μm), 其主要形式为碳酸钙, 并测得颗粒污泥总磷含量为 0.7~1.3 mmolPgSS^{-1} , 高于生物作用吸磷量, 其中沉积形式的磷含量为 0.2 mmolPgSS^{-1} , 据此推断可能存在磷酸钙, 其分布区域主要在颗粒污泥核心处^[13,19]。

张宇坤等(2010)在 SBR 试验装置中培养了具有良好除磷效果的颗粒污泥, 磷的去除率高达 93%。对颗粒污泥不同运行阶段典型周期中的磷进行恒算, 从而分析磷的去向。通过计算分析推测, 磷的去向主要为以下两方面: 通过将系统内污泥排出(出水 SS 和专门排泥)带走磷和将磷储存在污泥内部。其中污泥积磷作用在污泥浓度增长或单位质量污泥磷含量增长时尤为显著。颗粒污泥系统中污泥积磷作用除了生物的超量聚磷将磷富集在污泥中, 还可能存在其它途径。另一方面, 取运行效果稳定的厌氧末颗粒污泥进行 XRF 检测, 表明污泥中具有磷酸钙、磷酸镁等不溶性无机物^[19]。

以上研究表明, 颗粒污泥具有积磷现象, 主要体现在颗粒内部。“积磷”的概念是: 由于污泥的颗粒化, 磷在生物或化学作用下沉积在污泥颗粒中。

2 颗粒污泥积磷机理的几个推测

2.1 推测 1—积磷的最终产物将是无机化学物质

就目前的研究认为, 污泥颗粒化过程必将带来颗粒粒径不断增长, 细菌由于生物适应性主要聚集在颗粒污泥表层。李军^[17]等拍摄的好氧污泥颗粒截面照片(图 1)可以明显看出, 一定大小的污泥颗粒表层集聚着主要的微生物(活性物质),

在颗粒的内部沉积的是灰白的无机化学物质。

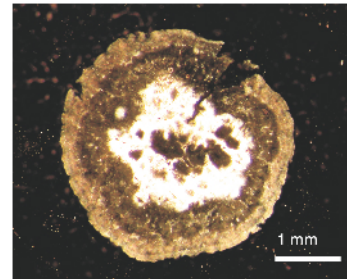


图 1 颗粒污泥剖面

可以推测, 污泥颗粒粒径由小变大的过程中, 细菌等微生物不断从颗粒内部迁移到颗粒外部, 迁移能力较差的微生物将死亡并沉积在颗粒内部, 这些死亡的微生物也同时将其内部的磷部分沉积在颗粒内部; 而那些早期通过化学沉淀固定在颗粒污泥中的磷由于不具备移动性, 自然沉积在颗粒上, 成为无机质的一部分。这种现象作为颗粒污泥积磷模式可由图 2 表述。

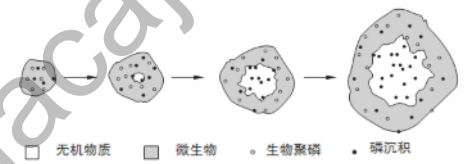


图 2 污泥颗粒增大过程中的积磷现象

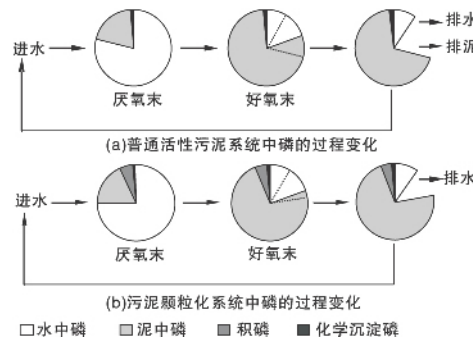


图 3 颗粒污泥与普通活性污泥除磷的不同

2.2 推测 2—不专门排泥也能实现颗粒污泥除磷

张宇坤^[19]等在不专门排泥的情况下取得了很高的除磷效果, 这主要是颗粒污泥积磷的原因。按照聚磷菌特性, 系统必须通过排泥才能达到除磷的目的。但根据推测 1 可以认为, 在颗粒污泥系统中生物死亡和化学沉淀所沉积的磷最终要成为无机物。颗粒污泥积磷体现在工艺过程中主要有以下两方面: (1) 污泥浓度不断增长使磷固定在颗粒上; (2) 金属和磷酸根通过化学反应生成不溶性磷酸盐沉积在颗粒污泥中。

2.2.1 颗粒污泥与普通活性污泥除磷的不同

颗粒污泥与普通活性污泥除磷的不同主要表现在:由于污泥的颗粒化需要,系统在颗粒形成过程中不主动排泥,仅通过选择压在出水中排除不易沉淀的絮体(SS)带出磷。污泥颗粒在粒径增长的过程中,生成了在系统中停留时间很长的污泥,这部分污泥由于不会被排出,就形成“积磷”现象。普通活性污泥系统中也存在磷的化学沉淀反应,但由于污泥龄限制,每个周期都会有少量磷通过化学沉淀生成在污泥中^[7],却不存在明显的“积磷”现象,而颗粒污泥系统中通过化学沉淀生成在颗粒中的磷将沉积并留在反应器中(如图 3 所示)。

2.2.2 利用积磷方式强化除磷

应用积磷方式将水体中的磷盐转化为无机盐等不溶性物质得以去除来实现除磷,关键是要有足够的积磷量和一定的积磷速率,可能通过以下方式实现:

(1)增加污泥浓度。与活性污泥相比,颗粒污泥可通过颗粒化不断增加系统污泥浓度,污泥浓度越高,积磷量越大,积磷速率越高;

(2)增大颗粒污泥粒径。在颗粒污泥破碎之前,随着粒径不断增加,沉积在颗粒上的磷越来越多,不溶性无机磷也越多。当污泥颗粒破碎后,内部无机磷从污泥中剥落出来,作为沉淀物沉入反应器底部;

(3)原水中增加金属离子。增加的金属离子主要能和磷酸根形成化学沉淀物质,如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等。

3 结论与建议

(1)颗粒污泥除磷系统除遵循普通活性污泥放磷/聚磷的生物除磷机制外,最大的不同在于存在污泥颗粒的“积磷”作用。污泥颗粒在由小变大的过程中,一部分死亡微生物内部的磷部分沉积在了颗粒内部,一部分通过化学沉淀固定在污泥颗粒上的磷也沉积在颗粒上;

(2)颗粒污泥积磷的最终产物可能为不溶性无机化金属盐;

(3)在不专门排泥的情况下,颗粒污泥系统可能依靠积磷作用可以达到很高的除磷效果;

(4)积磷机理的几个假设有待进一步研究论证,用于指导生产实践。

参考文献

[1]M.K de Kreuk, J.J. Heijnen, M.C.M. Van Loosdrecht. Simultane-

ous COD, nitrogen, and phosphate removal by aerobic granular sludge[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2005, 90(6): 761-775.

[2]Sunil S. Adv, Duu-Jong Lee, Kuan-Yeow Show, et al. Aerobic granular sludge: Recent advances [J]. *Biotechnology Advances*, 2008, 26: 412, 417-430.

[3]Morgenroth E, Sherden T, van Loosdrecht MCM, Heijnen JJ, Wilderer PA. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor. *Water Research*[J], 1997, 31: 3182-3194.

[4]Beun J.J., Hendriks A, van Loosdrecht MCM, Morgenroth E, Wilderer PA, Heijnen JJ. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor[J]. *Water Research*, 1999;33:2283-2290.

[5]Li J, Garmy K, Neu T, et al. Comparison of some characteristics of aerobic granules and sludge flocs from sequencing batch reactors[J]. *Water Science Technology*, 2007, 55(8-9): 403-411.

[6]J.J. Beun, M.C.M. Van Loosdrecht, J.J. Heijnen. Aerobic granulation in a sequencing batch airlift reactor [J]. *Water Research*, 2002, 36: 702-712.

[7]APPELDOOM K J, BOOM A J, KORTSTEE G J, et al. Contribution of precipitated phosphates and acid-soluble polyphosphate to enhanced biological phosphate removal[J]. *Water Research*, 1992, 26: 937-943.

[8]Feng Wang, Shan Lu, Min Ji, et al. Characteristics of aerobic granule and nitrogen and phosphorus removal in a SBR[J]. *Journal of hazardous materials*, 2009, 164: 1225-1227.

[9]杨国靖, 李小明, 曾光明, 等. 好氧颗粒污泥同步除磷脱氮研究的新进展[J]. *工业用水与废水*, 2006, 35(6): 10-14.

[10]申沛, 陈银广. 影响聚磷菌与聚糖菌竞争的关键因素研究的进展[J]. *四川环境*, 2008, 27(1): 74-78.

[11]刘小英, 穗贤杰, 彭党聪. 生物除磷颗粒污泥的丝状菌膨胀及恢复研究[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(17): 21-27.

[12]唐艳葵, 童张法, 张寒冰, 等. 颗粒污泥的反硝化除磷研究[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(17): 32-40.

[13]Ting-ting Ren, Li Liu, Han-Qing Yu, et al. Calcium spatial distribution in aerobic granules and its effects on granule structure, strength and bioactivity[J]. *Water Research*, 2008, 42: 3338-3350.

[14]Y Liu, J.H. Tay, et al. Relationship between size and mass transfer resistance in aerobic granules[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2005, 40: 312-318.

[15]Moy Y.P., J.H. Tay, Y Liu, et al, high organic loading influences the physical characteristics of aerobic granules. *Letters in Applied Microbiology*, 2002, 34, 407-412

[16]Jiuyi Li, Yong Chen, Jin Li, et al. Morphological and structure characteristics of aerobic granulation [J]. *Journal of Chemical and Technology and Biotechnology*, 2006, 81: 823-830

[17]Alphenaar, P.A., Sleyster, R., de Reuver, P., Ligthart, G.J., Lettinga, G., 1993. Phosphorus requirement in high-rate anaerobic wastewater treatment[J]. *Water Research*, 27, 749-756.

[18]张宇坤, 郭亚萍, 李军, 等. 序批式颗粒污泥颗粒污泥系统中磷的变化和去向分析[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(9).