

好氧颗粒活性污泥的培养及理化特性研究*

竺建荣 刘纯新

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要 研究厌氧-好氧交替工艺中好氧颗粒活性污泥的培养和理化特性. 在普通好氧曝气条件下, 反应器内培养出了好氧颗粒活性污泥. 颗粒直径 0.5—1.5mm, 比重 1.007 左右, 含水率 97%—98%, MLSS4.04—6.88g/L, SVI20—45ml/g, 一般约 30ml/g. 颗粒污泥受阻沉降层的均匀沉降速度 v_s 约 2.15cm/min, 临界浓度时沉降速度值 v_2 约 0.35cm/min. 颗粒污泥的耗氧速率 OUR_w 1.27mg/(g·min), 这些理化指标均优于普通的活性污泥. 对于 COD 浓度 372—548mg/L、P 浓度 9.84—13.57mg/L 的生活污水, 总 COD 去除率和除 P 效率一般分别在 90% 以上.

关键词 颗粒活性污泥, 厌氧-好氧交替工艺, 生活污水处理, 生物除磷.

Cultivation and Physic-chemical Characteristics of Granular Activated Sludge in Alternation of Anaerobic/Aerobic Process

Zhu Jianrong Liu Chunxin

(Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract This paper first reports the cultivation and physic-chemical characteristics of granular activated sludge in a single alternation of anaerobic/aerobic (AAA) process. It was shown that under conventional condition, the granular activated sludge was formed and observed in the reactor, 0.5—1.5 mm in diameter, specific weight about 1.007g/cm³, water content 97%—98%, MLSS4.04—6.88g/L, SVI20—45ml/g (normally 30 ml/g), settling velocity in inhibited layer 2.15 cm/min, the settling velocity in compressed layer 0.35cm/min, specific oxygen utilizing rate of sludge (OUR_w) 1.27mg/(g·min). These properties of the granular activated sludge are better than the parameters of conventional activated sludge. For the domestic sewage treatment of COD 372—548mg/L and P concentration 9.84—13.57mg/L, the COD and P removal efficiencies could reach more than 90%.

Keywords granular activated sludge, alternation of anaerobic/aerobic process, domestic sewage treatment, biological phosphorus removal.

上流式厌氧污泥床(UASB)反应器已广为应用^[1,2]. 有人尝试采用类似的手段, 在好氧处理工艺中培养好氧颗粒活性污泥来代替传统的絮状活性污泥^[3,4]. 但是, 好氧颗粒活性污泥的培养条件苛刻, 操作和运行复杂, 必须用纯氧曝气, 运行费用相当高. 在工程应用中污泥的培养和驯化以及运行过程控制等都将受到限制. 本文首次报道在普通曝气条件下, 在厌氧-好氧交替工艺(Alternation of Anaerobic/Aerobic Process, AAA)中, 通过控制运行条件培养出好氧颗粒污泥. 同时描述了该污泥的形态和理化特性, 以及对有机物和磷的去除效果.

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验采用单池 AAA 工艺, 即一个反应器内厌氧和好氧交替进行操作的活性污泥法. 它涵盖多种不同的运行方式, 实质上是 SBR 工艺的一种变型^[5,**]. 所用反应器为聚氯乙烯塑料圆桶, 内径为 22cm, 总体积 10L, 有效反应器体

* 清华大学研究基金资助

竺建荣: 男, 35 岁, 博士, 副教授

** 周岳溪, 废水生物除磷机理及间歇式生物处理工艺的研究. 清华大学工学博士学位论文, 1990.

收稿日期: 1998-05-26

积 6—6.5L。由时间程序控制器分别控制进水、厌氧、曝气、沉淀、排水等全过程。根据需要选定运行周期以及各操作时段的启动和关闭时间。运行温度冬季 20℃, 由热交换器保持恒温在 20 ± 2 ℃ 范围内; 夏季在室温下运行。气源用山本-6500 型曝气机。整个装置的工艺流程见图 1。

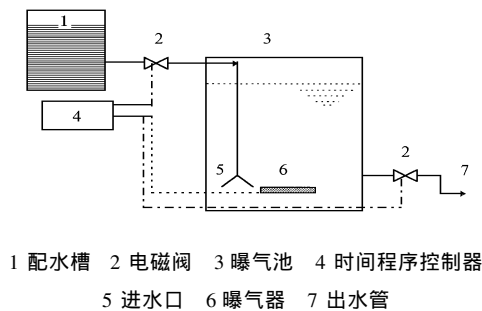


图 1 试验装置示意图

在反应器的污泥沉淀后从底部向上进水, 同时从反应器上部溢流管排水。进水 16min, 流量 0.4L/min, 每次进水控制在 6—6.5L。定期测定混合液中的 SV、SVI、DO、MLSS、MLVSS、TP、pH 等运行参数。根据参数及时调整反应器的运行。每 1d 运行 3 个周期, 每 1 周期 8h: 厌氧 2.5h, 曝气 4h, 沉淀和进水 1.5h。

1.2 试验用水

采用人工模拟配制的生活污水。水质大致为: COD 300—550mg/L, TN 30—40mg/L, $\text{HN}_3\text{-N}$ 10—20mg/L, TP 8—15mg/L。

1.3 分析项目和测试方法

(1) COD、SV、SVI、MLSS、MLVSS 等均按标准方法测定^[7]。

(2) 耗氧速率(OUR_w)、污泥比重测定方法参照《水和废水标准检验法》^[7]。

(3) 污泥显微镜观察采用 Nikon Optiphot X-2 型生物研究显微镜。

(4) P 含量采用标准方法^[7], DO、pH 分别采用 YSI DO 测定仪和 pH S3B 测定仪。

2 实验结果与讨论

2.1 好氧颗粒污泥的培养及外观形态

(1) 颗粒污泥的培养和普通外观 本试验中 AAA 工艺的反应器运行和污泥培养经历了

4 个阶段: 驯化、调整、负荷提高和高负荷运行, 共历时约 7 个月。好氧颗粒污泥出现在负荷提高阶段末期, 并在高负荷运行阶段表现得十分突出。好氧颗粒污泥一般均为高负荷阶段的颗粒污泥。其外观为橙黄色, 圆形或椭圆形, 颗粒粒径大多在 0.5—1.5mm 之间。

(2) 低倍光学显微镜下的污泥形态 在较大的颗粒污泥颗粒表面和周围存在大量的原生、后生动物, 附着生长着大量钟虫, 如等枝虫。这些等枝虫凭借其长柄, 伸展到颗粒周围的空间, 并不停地在吞食细菌和固体食物颗粒。颗粒周围的液体中有很多草履虫、变形虫、水蚤、线虫和衣藻游动。颗粒本身的生物相极其丰富, 主要是形态各异的细菌, 有球菌、长短不一的杆菌等等。

颗粒表面附着生长的种类繁多、形态各异、数目巨大的原、后生动物, 以及周围多种游泳型原后生动物, 对于减少出水中游离细菌的数目, 提高出水水质, 具有很重要的作用。而且, 大量存在的原后生动物可以吞食污水中细菌难以降解的、大颗粒的污染物, 强化有机物的分解代谢反应, 大大提高反应器的处理能力和处理效率。更重要的是, 丰富的微生物相, 较高的生物量, 提高了反应器的处理负荷, 增强了反应器的耐冲击能力。

2.2 好氧颗粒污泥的常规理化指标

(1) 颗粒粒度分布 取反应器高负荷运行阶段的颗粒污泥样品, 适度冲洗淘汰絮体污泥后用颗粒粒度仪进行测定, 结果见图 2。图 2 表明, 污泥颗粒的粒径多在 1000 μm 左右。对于未经淘洗的颗粒污泥原样的全粒度分析表明, 粒径在 0.5mm 以上的颗粒占全部污泥微粒的 20%。这样, 在保持良好沉降性的同时, 又能保证在曝气时污泥具有良好的悬浮性和透气性。试验中曾观察到一些由很多小颗粒聚集成的大团块, 直径在 1cm 左右, 但这些大团块的强度不高, 在曝气时的剧烈运动中, 会逐渐解体成为原来的小颗粒。

(2) 污泥比重 污泥比重是等体积的污泥与蒸馏水质量的比值。取 500ml 高负荷运行阶

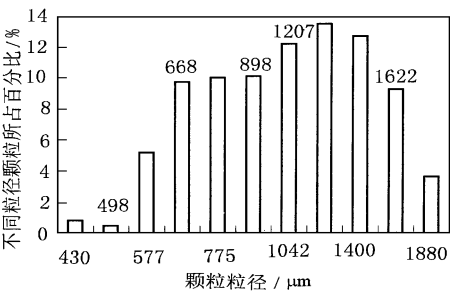


图2 好氧颗粒污泥的粒径分布

段曝气后沉降 30min 的污泥, 装入 50ml 容量瓶, 测定该污泥的比重, 结果见表 1. 从表 1 可以看出, 颗粒污泥的比重为 1.0068—1.0072g/cm³, 而普通活性污泥的比重约 1.002—1.006g/cm³.

表1 污泥比重的测定结果

时间 / d	泥与瓶重 / g	水与瓶重 / g	瓶重 / g	温度校正因子 F	比重 / g · cm ⁻³
34	77.587	77.137	27.223	0.9982	1.0072
41	77.652	77.207	27.250	0.9982	1.0071
55	77.254	76.816	27.168	0.9980	1.0068

(2)污泥含水率 表 2 列出了沉降 30min 不同运行状态时污泥的含水率.

表2 污泥含水率测定结果¹⁾

时间/d	SVI/ml · g ⁻¹	VSS/SS	比重/g · cm ⁻³	含水率/%
34	32.1	0.78	1.0072	97.0
41	37.8	0.80	1.0071	97.4
55	49.5	0.80	1.0068	98.0

1) 污泥含水率 = (污泥总重量 - 干污泥重量) / 污泥总重量

由表 2 可见, 该好氧颗粒污泥的含水率在 97%—98%, 低于普通活性污泥(含水率 99% 以上). SVI 值越小, 沉降后的污泥含水率越低. 这说明, 对于相同干重的污泥, 采用该好氧颗粒污泥, 将比普通活性污泥法的污泥量(包括污泥浓缩、消化等泥区处理单元)至少减少一半.

(4)好氧颗粒污泥的沉降特性 曝气时, 污泥悬浮在混合液中, 曝气停止时, 迅速形成一个明显的分界面, 污泥以上为澄清液, 以下为下沉的污泥(受阻沉淀层). 这属于拥挤沉淀. 界面刚刚形成时, 受阻沉淀层中浓度比较均匀, 泥的沉降速度等于界面的沉降速度. 在形成受阻沉淀层的同时, 沉淀柱底部污泥开始压缩, 出现一个

压缩层, 此层中污泥浓度也是均匀的. 在受阻沉淀层与压缩层之间为过渡层, 此层中的污泥浓度逐渐变浓. 压缩层与过渡层的分界面以一个恒定的速度上升. 随着沉淀时间的增长, 受阻沉淀层与过渡层将逐渐缩小. 最终, 这 2 层将消失, 只剩下上层澄清液与下层压缩层. 此时的污泥浓度称为临界浓度. 随后, 压缩层开始压缩, 高度减小但很缓慢, 直到污泥被压实为止.

测定界面位置随时间变化的情况, 将所测得数据绘成曲线, 各层的沉降速度均可由沉降曲线上的各点的切线斜率求出, 结果见图 3. 由图 3 可得: $v_s = 0.484\text{mm/s} = 2.15\text{cm/min}$
 $v_2 = 0.416\text{mm/s} = 0.35\text{cm/min}$

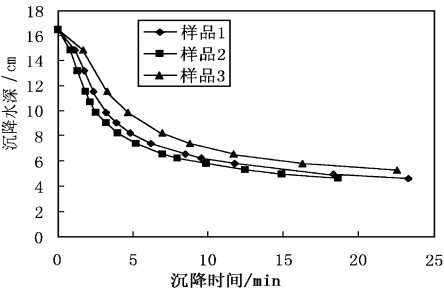


图3 污泥的沉降曲线

由于在反应器中形成好氧颗粒污泥, 污泥的沉降性能极好. 在高负荷运行阶段, 好氧颗粒污泥的沉降指数(SVI)测定见图 4. 结果表明, 反应器内 MLSS 4.04—6.88g/L, SV 14%—30%, SVI 20—45ml/g, 一般在 30 左右, 沉降性能很好; 而普通活性污泥法的 MLSS 一般为 2—4g/L, SVI 值在 100—150ml/g 之间.

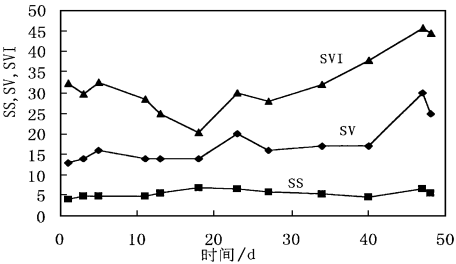


图4 高负荷运行阶段颗粒污泥的浓度和沉降性能

(5)耗氧速率 单位重量的微生物单位时间对氧气的吸收量(定义为 OUR_w), 可以说明

其新陈代谢过程的快慢即微生物活性的大小,反映微生物对有机物的降解能力. 一个反应器中单位时间内所有微生物对氧气的吸收量(定义为 OUR_v) 反映了该反应器对有机物的处理能力. OUR_w 的测定结果见图 5.

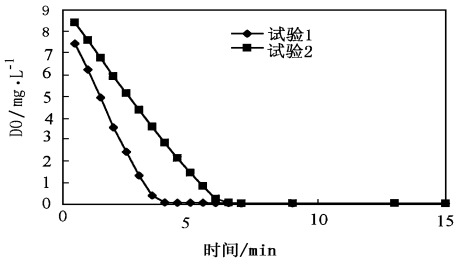


图 5 污泥的耗氧速率曲线

按照上述方法测得 2 次平均值: $OUR_w = 1.27 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$. 试验污泥浓度的测定值 $VSS = 4.02 \text{ g/L}$, 所以:

$$OUR_v = OUR_w \cdot v \cdot X_i = 1.27 \times 6 \times 4.02 = 30.65 \text{ mg/min}$$

普通活性污泥法的 OUR_w 值为 $0.8 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 左右. 由此可见, 好氧颗粒污泥的生物活性明显高于普通活性污泥.

2.3 颗粒活性污泥的 COD 降解和除磷效果

AAA 工艺的特点是既有 COD 降解能力, 又有脱氮除磷活性. 本试验中高负荷阶段其 COD 降解和除磷效果见图 6. 由图 6 可知, 在高负荷运行阶段, 进水 COD 浓度 $372\text{--}548 \text{ mg/L}$, 出水 COD 浓度一般 $20\text{--}50 \text{ mg/L}$, 总 COD 去除率基本上在 90% 以上. 这说明, 本试验的厌氧-好氧交替工艺能稳定地去除有机物, 并且效率很高. 经计算, 本试验反应器的有机物 COD 处理负荷 $F_r = 1.2\text{--}1.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. 在这一阶段, 进水 P 浓度为 $9.84\text{--}13.57 \text{ mg/L}$, 出水 P 浓度一般 1 mg/L 左右, 去除效率 90% 以上. 运行过程中, 不必投加外部碳源(甲醇或乙酸钠), 只利用生活污水中的有机物作为碳源就能达到好的除磷效果, 说明此工艺对于生活污水的除磷具有良好的应用前景, 也具有较好的脱氮效果(结果没有表示).

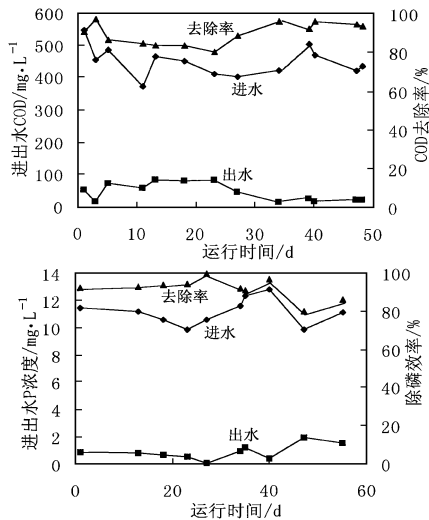


图 6 高负荷运行阶段进出水 COD 及 P 去除效果

3 结 语

污泥的代谢活性测定及反应器的运行性能表明, 颗粒活性污泥具有较高的耗氧速率和代谢活性, 使反应器的处理负荷也随之提高. 本试验中 COD 处理负荷达到 $1.2\text{--}1.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. 这一数值高于普通活性污泥法 $0.6\text{--}0.9 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 也略优于吸附再生法 $0.8\text{--}1.2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 相当于氧化沟负荷的 3 倍. 同时, COD 去除率和 P 去除率一般均在 90% 以上. 不过, 有关好氧颗粒污泥的形成机理、最适培养条件、微生物学特性及关键性工艺运行控制措施等还需进一步深入研究.

参 考 文 献

- 1 Lettinga G. Anaerobic Digestion and Wastewater Treatment Systems. Antonie van Leeuwenhoek, 1995, **67**: 3—28
- 2 Lettinga G and L W Hulshoff Pol. UASB Process Design for Various Types of Wastewater. Water Sci. Technol., 1991, **19**: 99—108
- 3 Shin H S, K H Lim and H S Park. Effect of Shear Stress on Granulation in Oxygen Aerobic Upflow Sludge Bed Reactors. Wat. Sci. Tech., 1992, **26**(3—4): 601—605
- 4 Mishima K and M Nakamura. Self-Immobilization of Aerobic Activated Sludge—A Pilot Study of the Aerobic Upflow Sludge Blanket Process in Municipal Sewage Treatment. Wat. Sci. Tech., 1991, **23**: 981—990
- 5 Irvine R L et al. Controlled Unsteady State Processes and Technologies—an Overview. Wat. Sci. Tech., 1997, **35**(1): 1—10
- 6 宋仁元等译. 美国公共卫生协会、美国自来水厂协会、水污染控制联合会编著. 水和废水标准分析法(第 15 版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1985