

生活污水培养颗粒污泥的特性研究

张云霞, 杨 清, 季 民, 吴 斌, 周 佳

(天津市市政工程设计研究院, 天津 300051)

摘 要: 采用骤降沉降时间法和逐降沉淀时间法进行颗粒污泥的培养, 结果显示骤降沉降时间法由于污泥的洗出量远大于污泥的生长量, 而导致出水的恶化和培养失败; 而逐降沉淀时间法, 通过 2 个快速沉淀阶段和 1 个慢速沉淀阶段, 颗粒从出现、成长到成熟。颗粒污泥粒径分布比较广, 平均粒径为 $245.4\ \mu\text{m}$, SVI 为 $46.4\ \text{mL/g}$, 湿污泥密度 $1.0816\ \text{g/cm}^3$, 含水率在 $97.1\% \sim 97.8\%$ 。

关键词: 颗粒污泥; 生活污水; 骤降沉降时间法; 逐降沉淀时间法

中图分类号: X5

文献标识码: B

文章编号: 1674-4829(2011)03-0015-06

Characteristics of Granular Sludge Cultivated by Domestic Sewage

ZHANG Yun-xia, YANG Qing, JI Min, WU Bin, ZHOU Jia

Abstract: Two kinds of methods were adopted to cultivate granular sludge. The method of suddenly lowering settling time was failed, because the amount of washout was greater than the amount of growth. However, granular sludge was successfully cultivated by the method of gradually lowering settling time, which made settling time lower to $8 \sim 10$ minutes by two rapidly settling stage and one gradually settling stage. The particle size of the granular sludge was in a wide range, with an average diameter of $245.4\ \mu\text{m}$, $MLSS$ of $4\ 320.5\ \text{mg/L}$, SVI of $46.4\ \text{mL/g}$, wet sludge density of $1.0816\ \text{g/cm}^3$ and water content of $97.1\% \sim 97.8\%$.

Key words: Granular sludge; Domestic sewage; Method of suddenly lowering settling time; Method of gradually lowering settling time

0 引言

国内颗粒污泥的培养研究始于 2003 年, 均采用人工配水, 成功培养好氧颗粒污泥。王暄^[1]利用葡萄糖、乙酸钠和生活污水为基质, 厌氧/好氧周期循环的厌氧快速吸收工艺, 进水 COD_G 质量浓度控制在 $300\ \text{mg/L}$, VSS 污泥 COD 负荷控制在为 $0.2 \sim 0.3\ \text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, 葡萄糖培养的污泥几乎全部为成熟的颗粒污泥, 浅褐色, 镜检发现污泥呈球形或拟球形, 密实且边界清晰, 粒径为 $0.5 \sim 0.8\ \text{mm}$, 最大可达 $1.0\ \text{mm}$ 左右, SVI 为 $25 \sim 30\ \text{mL/g}$; 乙酸钠颗粒污泥浅黄褐色, 大部分呈细小的沙粒状, 粒径约为 $0.2 \sim 0.4\ \text{mm}$, SVI 为 $40\ \text{mL/g}$ 左右; 用生活污水培养颗粒污泥, 刚开始镜检发现有细小的颗粒出现, 掺杂在活性污泥的絮状体内, SVI 为 $60\ \text{mL/g}$ 左右, 后期由于污泥的膨胀而结束。北京工业大学高景峰^[2]以北京工业大学家属区排放的生活污水(COD_G 质量浓度为 180

mg/L , BOD_5 质量浓度为 $130\ \text{mg/L}$)为研究对象, 试验所用污泥来源于北京市高碑店污水处理厂二次沉淀池排放的剩余污泥, 在 SBR 中采用改变沉淀时间的方法, 成功培养出颗粒污泥, 粒径在 $0.5\ \text{mm}$ 左右。

以絮状污泥为接种污泥, 进行好氧颗粒污泥的培养有前人的工作基础和理论依据^[3-12]。因此在本文中, 在 SBR 反应器内以絮状污泥为接种污泥, 进行好氧颗粒污泥的培养。采用骤降沉降时间和逐步降低沉淀时间 2 种方法, 考察颗粒污泥的形成过程。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验装置见图 1。试验采用的颗粒污泥 SBR 系统由有机玻璃圆柱制成, 进水采用水箱进水, 排水采用重力排水。

(1) 进水系统: 来水引自天津纪庄子污水处理厂曝气沉砂池的出水, 由潜污泵提升经毛发过滤器进入水箱。潜污泵的启停由水箱中的高低水位控制, 当水箱的水位在超低水位时, 自动开启潜污泵。水箱中的

收稿日期: 2011-02-14

作者简介: 张云霞(1979-), 女, 江苏姜堰人, 博士, 高级工程师, 研究方向为污水处理和污泥处置。

原水通过电磁阀和闸阀进入反应器中,反应期间采用间歇进水,主要由 PLC 电路控制电磁阀来完成。

(2)反应系统:反应器由有机玻璃圆柱制成,有效体积 226.8 L,内层直径为 38 cm,有效高度为 200 cm。其中好氧采用微孔曝气器曝气,供气由纪庄子污水处理厂的鼓风机房提供,供气量由转子流量计控制,由电磁阀控制曝气时间,中心装有无级调速电动搅拌机。

(3)出水系统:通过重力出水,由电磁阀控制出水时间,在正常情况下,采用间歇出水方式,先沉降后出水,时间分配可通过电磁阀来控制。当反应器的水位到达超低水位或中水池水位达到高水位时,反应器停止出水。反应器在距离底部 0.6,0.8,1.0 m 处均有出水管,相应的体积交换率为 70%,60%,50%,均由闸阀控制。

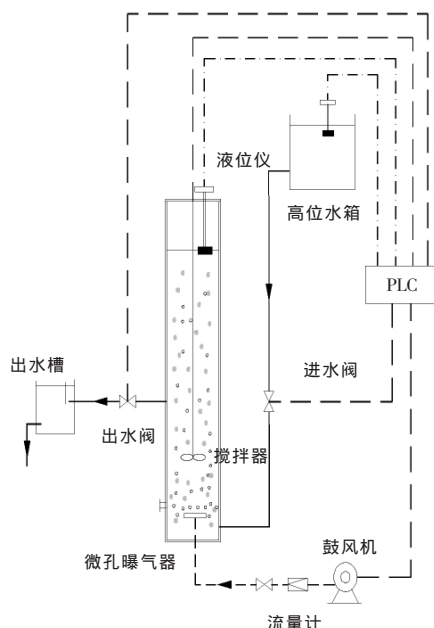


图 1 颗粒污泥 SBR 系统

1.2 试验原水水质和接种污泥

试验原废水来自天津市纪庄子污水处理厂曝气沉砂池。污水处理厂原废水由大部分生活污水和少部分工业废水组成,总体上可生化性较好,适宜采用生物处理工艺。

试验原废水由曝气沉砂池引入试验储水箱后,首先经过简单初沉,可去除原水中大部分颗粒性物质。进水前安装了孔径为 1 mm 的毛发过滤器,起到细格栅的作用;接种污泥取自纪庄子污水处理厂曝气池的活性污泥。

1.3 试验方法

1.3.1 扫描电镜观察

颗粒污泥表面以及剖面结构扫描电镜观察采用 PHILIPS XL-30 电镜。扫描电镜样品处理方法:①取

样:自反应器中取数颗好氧颗粒污泥,放入 5 mL 的离心管中,用去离子水清洗数次,弃去上清液。②固定:加入 2.5%,pH 值为 6.8 的戊二醛使淹没泥样,并置于 4 °C 冰箱中固定 1.5 h。③冲洗:用 0.1 mol/L 的 pH 值为 6.8 的磷酸缓冲溶液冲洗 3 次,每次 10 min。④脱水:依次用质量分数为 50%,70%,80%,90% 的乙醇进行脱水,每次 10 ~ 15 min,再用质量分数为 100% 的乙醇脱水 3 次,每次 10 ~ 15 min。⑤置换:用 V(乙醇):V(乙酸异戊酯)为 1:1 的溶液,纯乙酸异戊酯各置换一次,每次 15 min。⑥干燥:将置换后的样品用针头挑出,放入滤纸叠成的小盒中,置入干燥器中干燥 8 h。⑦喷金:用离子溅射镀膜仪 (IB-5 (Giko) 型) 在样品表面镀上一层 1 500 nm 厚度的金属膜。⑧观测:将处理好的待检泥样置于扫描电镜下观察^[8]。

1.3.2 粒径分布测定

污泥粒径分布采用激光粒度仪 (MALVERNMA STERSIZER S LONG BED),多目分筛法测定。多目分筛法是用 7 个不锈钢制成的筛子 (孔径分别为 2.0, 1.6, 1.25, 0.9, 0.6, 0.45, 0.18 mm) 来确定污泥粒径分布。从反应器中取出污泥颗粒首先利用磷酸缓冲溶液冲洗 3 遍,然后放在孔径最大为 2.0 mm 的筛子上,用磷酸缓冲溶液冲洗以使粒径小于 2 mm 的颗粒与其它颗粒分开,用容器收集透过筛子的颗粒。接下来,将容器里收集到颗粒污泥通过下一个孔径 1.6 mm 筛子,重复上述步骤直到最小孔径。用磷酸缓冲溶液反冲洗将留在筛网上的颗粒洗下来,测其 TSS,再将这数字相加得到污泥总量,最终确定每一部分 (< 0.18, 0.18 ~ 0.45, 0.45 ~ 0.6, 0.6 ~ 0.9, 0.9 ~ 1.25, 1.25 ~ 1.6, 1.6 ~ 2.0, > 2.0 mm) 所占的比例。

1.3.3 污泥密度测定

污泥密度用湿密度表示,湿密度测定计算方法如式(1)所示:

$$\gamma = \frac{\text{湿污泥重量}}{\text{湿污泥体积}} = \frac{(M_3 - M_1)}{[(M_2 - M_1) - (M_4 - M_3)] / \rho} \quad (1)$$

式中: γ 为污泥湿密度, g/cm^3 ; M_1 为空离心管质量, g ; M_2 为装满水后离心管质量, g ; M_3 为 500 r/min 离心 10 min 弃去清液后装有污泥的离心管质量, g ; M_4 : 装满水和污泥后离心管质量, g ; ρ 为室温下水的密度, g/cm^3 。

2 结果与讨论

2.1 骤降沉降时间的培养方法

反应器自 2007 年 7 月开始调试运行。7 月至 8 月,由于设备故障等原因,历经 2 次污泥流失。第 1

阶段污泥培养期间,从2007年8月1日至8月15日,进水有机物质量浓度较低,COD_{Cr}平均值为120.0 mg/L,BOD₅平均值仅为40.2 mg/L。此阶段接种活性污泥的特性,颜色是棕色,结构松散,污泥沉降性能较差,SVI为116.7 mL/g,超出活性污泥凝聚沉淀性能良好的范围:SVI=70~100 mL/g。

培养初期(前3 d)采用手动调节以加速去除接种污泥中结构疏松、体积较大而沉降性能较差的絮体污泥,促进污泥的颗粒化进程。第4天开始系统转为自动控制,运行时间为:进水30 min、曝气240 min、沉降时间和出水时间10 min。起始污泥的沉降时间为20 min,体积交换率为70%。在运行的前10 d内,反应器中 $\rho(\text{MLSS})$ 相对变化不大,在2 000~2 500 mg/L之间,前3 d出水 $\rho(\text{SS})$ 在130 mg/L左右,随着系统转入正常运行,出水 $\rho(\text{SS})$ 在100 mg/L左右;但当运行10 d时,把沉降时间由20 min骤降为5 min后,反应器中MLSS迅速降低,仅1 d $\rho(\text{MLSS})$ 降为1 215 mg/L,同时出水 $\rho(\text{SS})$ 增加为245 mg/L,可见污泥流失严重。在第1阶段的污泥培养过程中,污泥的沉降性能一直得到提高,但是提高得相对有限,尤其在最后5 d内SVI值基本在70 mL/g;在改变沉淀时间第5天,反应器中悬浮污泥几乎完全流失,出水SS高。在骤降沉降时间的期间内,反应器壁上黏附着大量的生物膜,但没有发现颗粒污泥的存在。

2.2 逐步降低沉淀时间的培养方法

逐降沉淀时间法是在排水高度一定情况下,减少沉淀时间,可改变临界沉降速率,减少沉淀时间以造成选择压,使低于临界沉降速率的细小分散和絮状污泥洗出,防止其累积,促进颗粒污泥的形成和成长。从2007年8月15日开始到2008年5月15日完成,分为颗粒污泥培养的不同时期(启动期、颗粒污泥出现生长期和颗粒污泥的成熟期),各阶段的运行参数调整如表1所示。

表 1 颗粒污泥培养各阶段的运行参数

参数	启动期 (20070815 ~ 20071027)	颗粒出现生长期 (20071028 ~ 20080105)	颗粒成熟期 (20080227 ~ 20080515)
进水时间/min	30	20	22
厌氧时间/min	0	0 ~ 42	38
曝气时间/min	90	90 ~ 120	240
沉淀时间/min	30 ~ 12	10	8 ~ 10
排水时间/min	12	12	12
总循环时间/min	180 ~ 162	162 ~ 204	308 ~ 310
换水率/%	50	50	70

接种污泥是从纪庄子污水处理厂的曝气池中直接取出,质量浓度为4 650 mg/L,SVI为92.3 mL/g,沉降性能较好。首先采用“空曝”措施调整接种污泥的沉降性能,即系统进水不进生活污水,直接进自来水,进料负荷为零,采用启动期的运行参

数。由于进料中营养的缺乏使微生物进行内源污泥,部分溶解;同时活力下降,污泥一簇一簇聚集生长。由于排水的正常运行,将污泥絮体中沉降性能差的淘洗出去。4 d后,污泥絮体变小,沉降性能提高,污泥质量浓度和SVI显著下降,分别为3 600 mg/L和81.3 mL/g。污泥变得比较密实,沉降速度为2.5 mg/h。由此可见,经过“空曝”可以大大改善污泥的沉降性能。图2所示的是启动期内MLSS和SVI的变化。

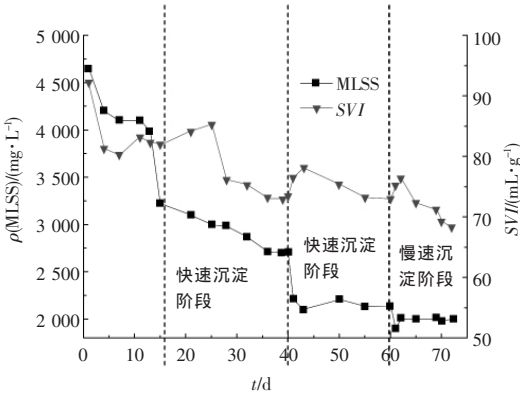


图 2 启动期内 MLSS 和 SVI 的变化

从图2中可以看出,当沉淀时间进入快速沉淀阶段和时,即调整沉降时间的1~2 d内,出水混浊,沉淀速度较慢的丝状和絮状污泥大部分被洗出,出水SS质量浓度高达750 mg/L;由于絮状污泥被洗出很多,相应反应器中的悬浮污泥浓度降低很多,相应MLSS下降很快,即在第15天MLSS质量浓度从3 985 mg/L降至3 225 mg/L;第41天MLSS质量浓度从2 710 mg/L降至2 210 mg/L。但到缓降区,由于出水SS不是很高,相应反应器中MLSS质量浓度变化不大,在2 000 mg/L左右。同时从图中还发现,SVI在每次调整沉降时间的随后几天,均呈现上升的趋势,随着时间的延长,又逐渐下降,原因主要是调整沉降时间对污泥有一定的冲击负荷,使其沉降性能变差。但从整个过程来看,污泥沉降性能得到很大的提高,SVI是处于下降的趋势,从开始的92.3 mL/g降为最终的69.3 mL/g。

在此阶段结束时,发现反应器内的混合液及出水中出现很多棒状、绒球状的污泥,但大小不一,污泥不致密、松软。

颗粒污泥出现生长期内MLSS和SVI变化见图3。从图3可知,在颗粒污泥出现生长期内,反应器内MLSS质量浓度的变化范围为1 900~2 640 mg/L;在颗粒污泥出现前,SVI变化相对较大,在73.4~63.1 mL/g之间变化,而当颗粒污泥出现后,污泥的SVI值相对比较稳定,变化范围为65.2~62.3 mL/g,沉降性能很好。

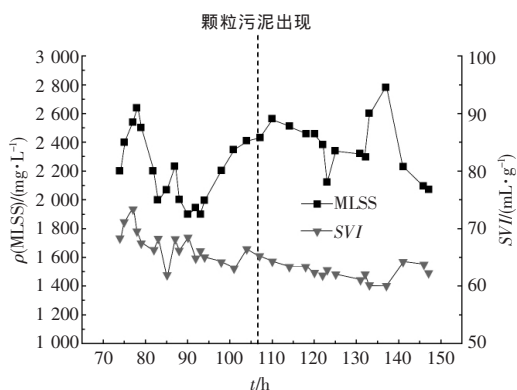


图3 颗粒污泥出现生长期内 MLSS 和 SVI 变化

颗粒污泥成熟期内 MLSS 和 SVI 的变化见图 4。从培养第 180 d 开始,肉眼观看反应器,很直观地发现絮状污泥逐渐减少,颗粒污泥逐渐增多,随着培养时间的延长,颗粒缓慢长大,并且在反应器内占主要地位,肉眼可见,且变得更加光滑密实,SVI 进一步下降,从 70.4 mL/g 下降到 46.4 mL/g。

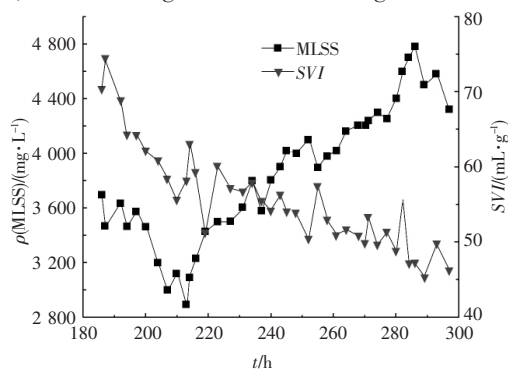


图4 颗粒污泥成熟期内 MLSS 和 SVI 变化

但整个培养过程中絮状污泥一直存在,与颗粒污泥长期共存,高景峰^[2]在颗粒污泥处理实际生活污水也时,同样也实现不了污泥的完全颗粒化,MCSWAIN^[13]认为实际生活污水的进水水质变化使得颗粒微生物群落多变不稳定,相应实现污泥的完全颗粒化很困难。

2.3 颗粒污泥的特性

2.3.1 颗粒污泥的外观形态

颗粒污泥培养过程中颗粒粒径变化的全过程见图 5。从图 5 中可看出颗粒污泥的成熟过程。从絮状污泥开始,随着培养时间的延长,絮体越来越少,颗粒由小变大。从污泥外观形态上看,颜色由黄色絮状污泥,逐渐变浅,当有颗粒形成时,最初的颗粒是浅黄色,随着颗粒的增大,颜色逐渐变深。污泥的形状也由表面不光滑、形状不规则,到逐渐表面光滑,有清晰的外形轮廓,绝大多数为规则的圆形或椭圆形。

将培养 141 d 和成熟期颗粒污泥样品置于培养皿内拍下的照片,最大粒径从 1 mm 长大到 2.5 mm,形状不规则,见图 6。

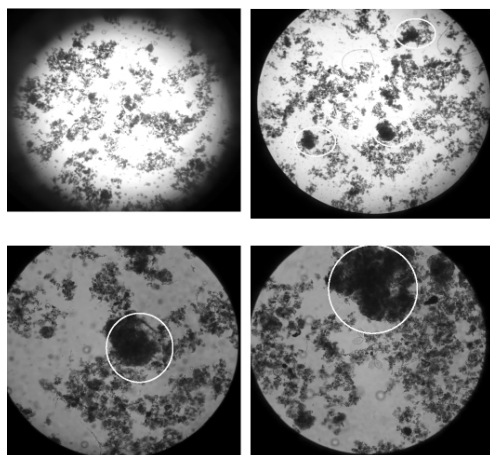


图5 颗粒污泥培养过程中粒径变化

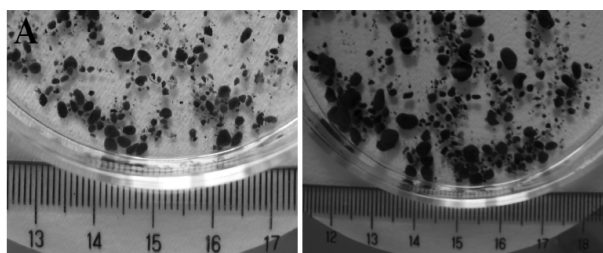


图6 颗粒污泥外观

分别对颗粒污泥的表面和横切面进行扫描,见图 7。根据电镜观察的结果,可以得知:颗粒污泥外型小不很规则,观察到的颗粒污泥表面的 2 种情况,由于颗粒污泥表面与营养物质(有机物,氧等)有良好的接触,细菌生长与代谢比较旺盛。细菌在颗粒污泥上的不同生长情况使得颗粒污泥的表面并不很光滑,呈现各种沟迥和皱褶,增大了污泥表面同废水的接触面积,可以为外部基质传输以及内部微生物生长代谢产物逸出提供通道,能够更有效吸收和分解废水中的养份。观察到颗粒污泥表面部分细菌聚集成团。

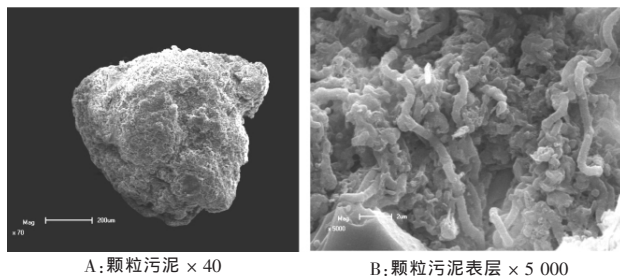


图7 扫描电镜下颗粒污泥外观及结构

从横切面图中可以清晰的看到有丝状菌,而球状菌和杆菌以丝状菌为载体聚集附着。颗粒污泥为层状结构,表面有丝状菌交织成网状结构,丝状菌发挥着框架作用,细菌和其他一些微生物被包裹和吸附在框架中。

2.3.2 颗粒污泥的活性

通过 MLVSS 与 MLSS 的比值近似表示活性污泥中活性物质的含量,对于处理生活污水的传统处

理工艺常为 75%左右。本实验中, 接种污泥的 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 为 65.72%, 接种污泥的 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 值较低, 经过驯化培养后, 随着颗粒污泥粒径的增大, $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 也逐渐升高, 由 65.72% 增至 78.91%, 系统中污泥活性逐渐好转, 但相比配水培养的颗粒污泥的 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 来说, 相对数值偏小, 由于生活污水具有较大的 SS, 增加了污泥中无机物质的含量。

2.3.3 颗粒污泥粒径分布

粒径是颗粒污泥重要的特征参数之一, 其对污泥的沉降性能、传质特性以及生物活性均具有显著影响。常规活性污泥絮体粒径一般介于 20 ~ 200 μm , 而颗粒污泥通常具有较大的粒径, 可以达到絮状污泥的 5 ~ 20 倍, 甚至更大。

实验中污泥粒径分布采用激光粒度仪 (MALVERNMASTERSIZER S LONG BED) 进行测定, 见图 8。分别于污泥启动期第 35 天、颗粒污泥出现及生长期第 152 天以及成熟期第 260 天取反应器中污泥测其粒径分布。

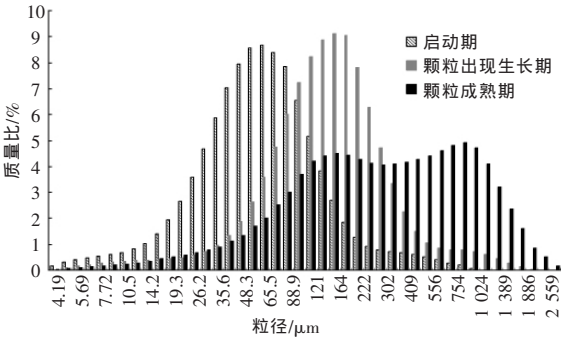


图 8 颗粒污泥粒径分布的变化

从图 8 可看出, 污泥启动期的污泥粒径主要以 48.27 ~ 120.67 μm 为主, 占总污泥量的 53%, 污泥平均粒径为 95.79 μm 。颗粒污泥出现和生长期的污泥粒径主要以 65.51 ~ 258.95 μm 为主, 占总污泥量的 67%, 污泥平均粒径为 147.59 μm 。颗粒污泥成熟期污泥粒径分布范围更广, 主要以 104 ~ 1 024 μm 为主, 占总污泥量的 67%, 污泥平均粒径为 245.4 μm 。随着时间的延长, 颗粒污泥逐步增大, 颗粒污泥的含量也逐步增多。

2.3.4 颗粒污泥的湿密度

颗粒污泥的湿污泥密度可以相对的表示颗粒污泥内微生物的密积度, 比重大的颗粒污泥不仅可以在反应系统内保持较高的微生物浓度, 同时也可有较高的沉降速率。实际测得的湿污泥密度 1.081 6 g/cm^3 , 所培养的颗粒污泥密度明显高于接种的污泥密度 (1.002 ~ 1.006 g/cm^3 之间), 这表明污泥颗粒化可以有效地改善微生物堆积排列, 提高污泥密度。

2.3.5 颗粒污泥的含水率

表 2 列出了沉降 30 min 不同运行状态时污泥的含水率。可看出, 颗粒污泥的含水率在 97.1% ~ 97.8%, 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。说明, 对于相同干重的污泥, 采用颗粒污泥, 将比普通活性污泥的污泥量 (包括污泥浓缩、消化等泥区处理单元) 至少减少一半。

表 2 污泥含水率测定结果

培养时间/d	SVI/($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	$\rho(\text{VSS})/\rho(\text{SS})$	含水率/%
120	63.2	0.687	97.4
162	61.3	0.731	97.2
190	60.4	0.778	97.1

2.3.6 颗粒污泥的沉降速度

图 9 所示颗粒污泥的沉降速率与粒径的关系, 从中可看出, 随着颗粒污泥粒径的增加, 沉降速率显著增加。然而, 在粒径超过一定值 2.2 mm 后, 其沉降速率随粒径的增长并不明显, 甚至出现下降的趋势。这一般认为是由于在颗粒污泥内部存在着物质扩散梯度, 颗粒粒径越大, 扩散到颗粒污泥内部的营养物越少, 其内部微生物得到的营养物越少, 从而阻碍了颗粒内部微生物的增殖与更新, 导致内部孔隙变大, 整个颗粒污泥的密度下降、沉降速率减小。此外, 从流体力学的观点来看, 颗粒污泥在静止水柱内的沉降近似符合 Stocks 定律, 其沉降速率是由颗粒自身密度、所受浮力及粘滞力所决定的, 各种颗粒在液体中沉降时终将达到一个平衡速度。

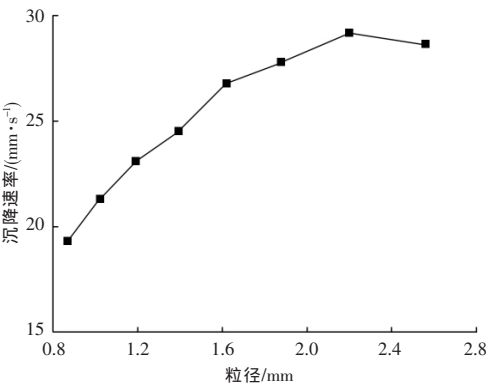


图 9 颗粒污泥粒径与沉降速率的关系

对于密度一定的颗粒, 随着粒径的增加其沉降速率逐渐增加, 然而, 沉降速率的增加直接导致了粘滞力的增加, 因此, 在达到该密度下最大沉降速率的粒径后, 由重力增加导致的加速被粘滞力增加所导致的反向加速所抵消, 从而出现沉降速率稳定甚至下降的趋势。当然, 颗粒所能达到的平衡速度并不仅仅取决于颗粒的密度, 它同时还受到粘滞力因素的影响, 如颗粒形状、沉降截面及其表面粗糙度等

的影响。

2.3.7 颗粒污泥的机械强度

颗粒污泥的机械强度可以在一定程度上反映污泥的抗水流剪力的能力,可由完整性系数来表示。本试验中颗粒污泥出现期颗粒污泥具有良好的机械强度,为 97.6%。稳定运行阶段颗粒污泥机械强度略有提高,为 97.92%。这反映出处理水质的改变并不影响颗粒强度,颗粒污泥不易因水流剪切、内部产气的压力而破碎造成污泥流失。

3 结论

(1) 利用骤降沉降时间法进行颗粒污泥的培养,由于污泥的洗出量远远大于污泥的生长量,从而最终导致反应器出水的恶化和颗粒污泥培养的失败。

(2) 采用逐降沉淀时间的方法,通过 2 个快速沉淀阶段和 1 个慢速沉淀阶段,将沉淀时间调整至 8 ~ 10 min,颗粒从出现、成长到成熟。污泥启动期平均粒径为 95.79 μm ,颗粒污泥出现和生长期平均粒径为 147.59 μm ,成熟期污泥平均粒径为 245.4 μm 。

(3) 启动期,反应器中由于絮状污泥被洗出很多,相应反应器中的悬浮污泥质量浓度降低很多,相应 MLSS 下降很快,从 3 985 mg/L 下降至 2 000 mg/L 左右;颗粒污泥出现生长期,反应器内 MLSS 质量浓度从 1 900 mg/L 逐步上升至 2 640 mg/L;颗粒污泥成熟期,反应器中污泥质量浓度 MLSS 逐渐上升,从 3 000 mg/L 上升到 4 320.5 mg/L。同时随着培养时间的延长,污泥的 SVI 呈现逐渐下降的趋势,92.3 mL/g 降至 46.4 mL/g。

(4) 颗粒污泥的湿污泥密度 1.081 6 g/cm³;颗粒污泥的含水率在 97.1% ~ 97.8%,低于普通活性污泥(含水率 99%以上);随着颗粒污泥粒径的增加,沉降速率也显著增加,当粒径为 2.2 mm,沉降速率为 28.95 mm/s,但当粒径超过此值 2.2 mm,其沉降速率随粒径的增长并不明显,甚至出现下降的趋势;稳定

运行阶段颗粒污泥机械强度略有提高,为 97.92%。

[参考文献]

- [1] 王 暄,季 民,王景峰,等. 好氧颗粒污泥胞外聚合物提取方法研究[J]. 中国给水排水, 2005, 21(8): 91 - 93.
- [2] 高景峰. 沉淀时间及生物膜对实际生活污水形成好氧硝化颗粒[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1 245 - 1 251.
- [3] 仲海涛,胡勇有,张宪宁,等. 颗粒污泥技术在污水处理中的应用研究进展[J]. 江苏环境科技, 2006, 20(4): 35 - 38.
- [4] 卢然超,张晓健,张 悦,等. SBR 工艺运行条件对好氧污泥颗粒化和除磷效果的影响[J]. 环境科学, 2001, 22(2): 87 - 90.
- [5] 王荣昌,文湘华,钱 易. 生物膜反应器中好氧颗粒污泥形成机理[J]. 中国给水排水, 2004, 20(3): 5 - 8.
- [6] 黄玉峰,张丽丽,郝 薇,等. SBR 中好氧颗粒污泥的培养与除污效能[J]. 中国给水排水, 2005, 21(2): 53 - 55.
- [7] 李 媛,沈耀良. 好氧污泥颗粒化影响因素的分析[J]. 江苏环境科技, 2008, 22(1): 74 - 78.
- [8] 王景峰,王 暄,季 民,等. 好氧颗粒污泥膜生物反应器污泥性状研究[J]. 环境科学, 2007, 28(5): 1 033 - 1 038.
- [9] BEUN J J, HENDRIKS A, LOOSDRECHT M V. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor[J]. 1999, 33(10): 2 283 - 2 290.
- [10] 刘莉莉,王志平,蔡伟民,等. SBR 反应器中好氧颗粒污泥的同步脱氮除碳特性[J]. 中国给水排水, 2010, 26(21): 113 - 117.
- [11] 韩 丹,汪永辉. MBR 中好氧颗粒污泥的培养及其特性研究[J]. 江苏环境科技, 2007, 21(4): 23 - 26.
- [12] 易 诚,湛含辉,陈津端,等. 搅拌-序批式活性污泥反应器(WASBR)中好氧颗粒污泥的特性研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(2): 268 - 275.
- [13] de BRUIN L M M, van der ROEST H F R, de KREUK M, et al. Promising results pilot research aerobic granular sludge technology at WWTP Ede[M]/BATHE S, de KREUK M, MCSWAIN B S, et al. Aerobic Granular Sludge, Water and Environmental Management Series No 7. UK: IWA Publishing, 2005, 135 - 142.

(责任编辑 曹恩伟)

欢迎订阅《环境科技》杂志