

水流剪切力对活性污泥特性影响的试验研究

冯 骞,薛朝霞,汪 翔,陈丽娜

(河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 利用 SBR 反应器模型研究了水流剪切力对活性污泥沉降特性和活性的影响,通过不同水流剪切力下活性污泥絮凝体形态及微生物类型的比较,分析了水流剪切力对活性污泥特性的影响机理.结果表明:SBR 系统中的活性污泥对水流剪切力的变化较敏感,剪切力会影响活性污泥的微生物生态系统,改变絮凝体的结构.利用水流剪切力来改变 SBR 反应器中活性污泥的沉降特性和活性是可行的.

关键词 水流剪切力 活性污泥 SBR 污泥絮凝体

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2006)04-0374-04

活性污泥是由菌胶团絮凝而成的.在泥法处理过程中,活性污泥从液相中吸附水中溶解的多种污染物,并利用其中的有机物合成微生物细胞,在自身增殖的同时达到降解水中污染物质的目的.作为细菌和微生物的同生聚集体,活性污泥是生物反应系统中生化反应的主体,其特性将直接关系到处理单元对污染物的去除效果^[1-3].研究表明,活性污泥数量的增长和特性的变化与水环境中剪切力的作用密切相关^[4-7].关于水流剪切力对活性污泥特性的影响机理,相关研究报道很少,且结论也不一致.本文研究了水流剪切力对 SBR 反应器中活性污泥沉降特性和活性的影响,并通过不同水流剪切力下活性污泥絮凝体的形态及微生物类型的分析,探讨了活性污泥系统对水流剪切力敏感性的调控机制,揭示了水流剪切力对活性污泥特性的影响机制,证实了利用水流剪切作用改变活性污泥特性的可行性.

1 试验装置、过程与方法

1.1 装置与材料

试验装置如图 1 所示.试验中,采用 5 个平行的 SBR 反应器,接种南京锁金村污水处理厂二沉池的回流污泥,利用自配原水进行不同水流剪切力下的驯化启动和运行.原水以葡萄糖为碳源、硫酸铵为氮源、磷酸二氢钾为磷源自行配置,其中还掺入了碳酸氢钠、硫酸镁、氯化钙及其他微量元素.试验期间 COD_{Cr} 、 NH_3-N 和 TP(以 PO_4^{3-} 计)的质量浓度分别为 420 ~ 480 mg/L, 20 ~ 32 mg/L 和 3.5 ~ 5.5 mg/L.驯化启动结束后,在维持各反应器相应剪切条件的情况下稳定运行,同时监测各反应器的进出水水质和污泥参数,镜检各系统活性污泥的微生物类型和污泥絮凝体的形态.

1.2 试验条件与过程

SBR 反应器的有效容积均为 2 L. SBR 系统运行周期为 12 h,其中进水 15 min、曝气 8 h、沉淀 1 h、排水 15 min、闲置 2.5 h. 试验过程中,曝气强度和水温保持不变,即曝气强度为 0.2 L/min、水温为 $(22 \pm 2) ^\circ C$. 同时,每天排放 50 mL 的曝气池混合液,以使 SBR 的固体平均停留时间(SRT)达到 40 d. 水流剪切力通过调节系统中搅拌器的转速来控制.

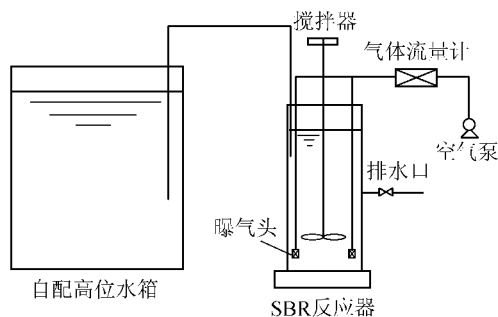


图 1 试验装置

Fig.1 Schematic diagram of experiment

SBR 反应器经过 14 d 的启动期后,各项指标趋于平稳,COD_{Cr}和 NH₃-N 的去除率分别超过 85% 和 90%,系统已进入稳定运行期.继续运行 7~14 d,定期监测活性污泥的活性和沉降特征值,并取其平均值作为稳定状态下 SBR 中活性污泥的特性参数,同时利用镜检观测系统中微生物的类型和絮凝体结构.

1.3 分析监测项目与方法

分析监测项目有水流剪切力 τ 、COD_{Cr} 的质量浓度 $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 、NH₃-N 的质量浓度 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 、DO 的质量浓度 $\rho(\text{DO})$ 、MLSS 的质量浓度 $\rho(\text{MLSS})$ 、MLVSS 的质量浓度 $\rho(\text{MLVSS})$ 、污泥沉降指数 I_{SV} 、污泥活性和生物相.

SBR 反应器中的水流剪切力 τ 按下式^[8]进行计算.

$$\tau = \mu G \qquad G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \qquad P = C \frac{\rho \omega^3 Z b (R^4 - r^4)}{4} \qquad \omega = \frac{\pi n}{30} \approx 0.105 n$$

式中: ρ ——水的密度; μ ——水的动力黏滞系数; C ——阻力系数,取值范围为 0.2~0.5,本试验取为 0.22; Z ——桨板数目; b ——桨板高度,本试验 $b=0.059\text{ m}$; R ——垂直轴中心至桨板外缘的距离,本试验所用搅拌器的 $R=0.006\text{ m}$; r ——垂直轴中心至桨板内缘的距离,桨板与垂直轴紧接时 $r=0$; ω ——桨板旋转的角速度; n ——垂直轴的转数; V ——池中被搅动的水体体积; G ——速度梯度.

搅拌机相应转速下的系统水流剪切力计算结果如表 1 所示.

$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 等的监测方法^[9-11] 如表 2 所示.

2 试验结果分析

2.1 水流剪切力对污泥沉降特性和活性的影响

水流剪切力与污泥沉降特性之间的相关关系如图 2~图 4 所示.

从图 2 可以看出:1 号~5 号反应器中的污泥沉降指数(I_{SV})均随着系统运行时间的增加而逐渐降低并趋于稳定.各 SBR 系统稳定后的污泥沉降指数均随着水流剪切力的增加而不断降低.从图 3 可以看出,水流剪切力对污泥沉降速度有一定的影响,水流剪切力越大,污泥沉降速度越快.从图 4 可以看出,随着水流剪切作用的加大,活性污泥的沉降指数(I_{SV})会不断降低,污泥沉降指数的降低幅度先大后小.以剪切力为 0.033 Pa 的 1 号

表 1 各系统水流剪切力运行条件

Table 1 Operational condition of hydrodynamic shear stress in SBR system

反应器 编号	搅拌机转速 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	水流剪切力 τ/Pa
1	80	0.033
2	120	0.060
3	150	0.084
4	180	0.110
5	220	0.149

表 2 $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 等的监测方法

Table 2 Detecting methods for $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ etc.

监 测 项 目	测 定 方 法
$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	重铬酸钾标准法
$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	纳氏试剂分光光度法
$\rho(\text{DO})$	JPB-607 型便携式溶氧仪测定仪
$\rho(\text{MLSS})$	烘干恒重法
$\rho(\text{MLVSS})$	烘干恒重法
I_{SV}	30 min 沉降比与 $\rho(\text{MLSS})$ 的比值
污泥活性	好氧速率法
生物相	用 Nikon eclipse E600 型显微镜进行观测

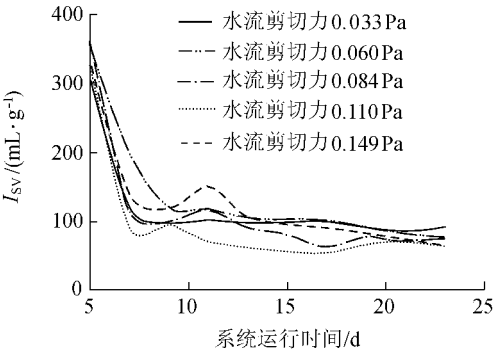


图 2 不同水流剪切力下污泥沉降指数的变化

Fig.2 Variation of settlement index of activated sludge under different hydrodynamic shear stresses

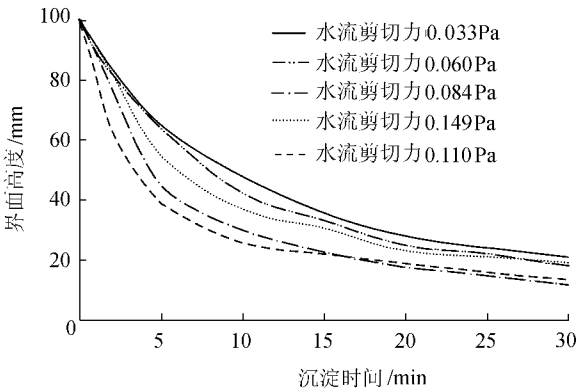


图 3 不同水流剪切力下的污泥沉降曲线

Fig.3 Settlement curve of activated sludge under different hydrodynamic shear stresses

反应器为例,随着剪切力的增加,2号~5号反应器中的污泥沉降指数(I_{SV})依次为1号反应器中污泥沉降指数的94.6%,77.2%,68.5%和66.3%,降幅分别为5.4%,18.4%,12.7%和3.3%。

从图5可知,当水流剪切力从0.033 Pa增加到0.110 Pa时,污泥活性随水流剪切作用的增大而逐渐提高,但当水流剪切力从0.110 Pa增加到0.149 Pa时,污泥活性出现了随水流剪切作用的增大而降低的现象。

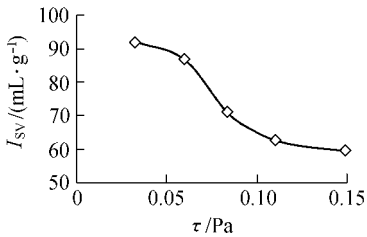


图4 水流剪切力与污泥沉降指数的相关关系

Fig.4 Correlation between settlement index of activated sludge and hydrodynamic shear stress

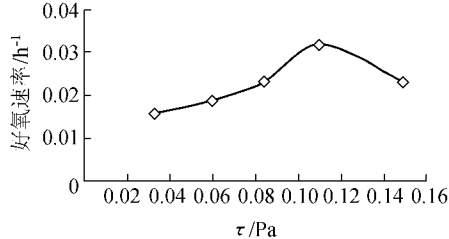


图5 水流剪切力与污泥活性的相关关系

Fig.5 Correlation between sludge activity and hydrodynamic shear stress

2.2 不同水流剪切力下各处理系统微生物类型和絮凝体结构

在活性污泥系统中,微生物生态系统的特性在很大程度上决定着污泥的活性和结构以及生物处理效率。在水流剪切力最小的1号SBR反应器中,镜检发现絮凝体中存在着大量丝状菌,胶团菌则附着在丝状菌形成的污泥骨架上,形成的污泥絮凝体结构最为疏松,呈开放型结构,菌胶团呈不规则块状。当剪切力增加至2号处理系统的0.060 Pa时,絮凝体中的丝状菌有所减少,絮凝体也较1号反应器中的絮凝体紧密。剪切力进一步增加至3号和4号处理系统的0.084 Pa和0.110 Pa时,SBR系统中活性污泥的结构已发生变化,菌胶团相对于1号反应器明显变小,形状也从不规则块状变成不规则海星状,絮凝体的紧密程度明显变高。镜检结果表明,丝状菌明显减少,胶团菌的数量明显增加。水流剪切力对活性污泥微生物类型和絮凝体结构的影响,在高剪切力(剪切力为0.149 Pa)的5号处理系统中的表现更为明显。在该系统内,菌胶团已经变得很小,其形状的不规则程度也大大降低,而且絮凝体变得异常紧密,镜检几乎无法发现丝状菌,絮凝体也多附着在进水中死亡的微型动物的残体上。

胶团菌和丝状菌作为活性污泥生态系统中最主要的微生物群体之一,两者存在特定的共生关系^[12]。丝状菌是污泥絮体形成的骨架,为形成较大的絮体颗粒并同时保持一定的松散度提供了必要的条件。附着在絮体上的胶团菌为丝状菌的生长提供了更加稳定、良好的生态条件,可保证污泥絮体具有良好的沉降性能而不会被出水带走。与胶团菌相比,丝状菌对水流剪切力的变化更为敏感。因此,在不同水流剪切力条件下运行的活性污泥系统中,丝状菌和胶团菌会此消彼长,并会影响到活性污泥的结构。在低剪切力作用下,活性污泥系统中大量的结构丝状菌交织生长,胶团菌附着其上形成新生污泥,在氧和营养物充足的条件下,胶团菌和丝状菌不断增长,污泥中伸出的结构丝状菌进一步为胶团菌的生长提供新的附着面,包裹形成更大的污泥絮凝体。由于丝状菌对剪切力的变化更为敏感,随着SBR中水流剪切力的逐渐增加,反应器中活性污泥中的丝状菌逐渐减少,胶团菌逐渐增加。这使得絮凝体的丝状菌骨架结构更加紧密,表现为污泥的密实程度增加,沉降速度加快,沉降指数降低。系统中水流剪切力的增加还会刺激微生物的呼吸作用,使污泥活性有所增加。而当剪切力增加到0.149 Pa时,由于剪切力过大,致使丝状菌几乎无法生存,造成絮凝体和污泥无法再以丝状菌为骨架建立起来。此时形成的絮凝体个体较小,紧密程度极高,尽管沉降性能仍然良好,但由于缺乏相应的骨架结构,污泥絮凝体原有的稳定结构形式被打破,活性污泥对污水中溶解氧的吸附和利用也受到抑制,因此污泥活性也有所降低。此外,在相对较大的水流剪切力作用下,微生物必须通过胞外多聚物分泌的调节更多地聚集在一起,才能抵御水流剪切的分散作用而更有利于生存。这也是增大水流剪切力可改变污泥沉降特性的原因之一。

3 结 论

a. 在SBR系统中,水流剪切力对活性污泥特性有一定的影响。具体表现为:在试验选定的剪切力范围0.033~0.149 Pa内,污泥的沉降指数随剪切作用的加大而逐渐降低,以好氧速率表示的污泥活性随剪切作用的加大先升高后降低。

- b. 利用水流剪切作用可以改变活性污泥的微生物生态系统和絮凝体结构.随着 SBR 反应器中水流剪切力的逐渐增加,丝状菌的数量逐渐减少,胶团菌逐渐增多,形成的污泥絮凝体逐渐变小,结构也越来越紧密;在 0.149 Pa 的水流剪切力作用下,系统中几乎没有丝状菌生存,污泥无法以丝状菌为骨架形成,絮凝体个体最小且密实程度最高.
- c. 通过水流剪切力的合理调控,可以改善 SBR 反应器中活性污泥的沉降性能,提高污泥的活性,强化反应器的净化效果.

参考文献：

[1] 王维斌. 污水处理中减少污泥产量的方法和机理[J]. 给水排水,2001, 27(10) 38-42.

[2] 周律,钱易. 好氧颗粒污泥的形成和技术条件[J]. 给水排水,1995(4) 11-13.

[3] 卢超然,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.

[4] SPEECE R E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters[M]. Nashville :TN United States Published by Archae Press,1996 134-135.

[5] LIU Y, TAY J H. The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granular sludge[J]. Water Res, 2002, 36(7) 1653-1665.

[6] BEUN J J, VAN LOOSDRECHT M C, HEIJNEN J J. Aerobic granulation[J]. Water Res,2000,41(4) 41-48.

[7] SHIN H S, LIM K H, PARK H S. Effect of shear stress on granulation in oxygen aerobic upflow sludge bed reactors[J]. Water Sci Technol, 1992,26 601-605.

[8] 罗辉荣. 混凝搅拌试验方法的探讨[J]. 工业水处理,1984, 4 (1) 30-36.

[9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京 中国环境科学出版社,2002 :210-213.

[10] 俞毓馨,吴国庆,孟宪庭. 环境工程微生物检验手册[K]. 北京 中国环境科学出版社,1990 :133-135.

[11] SURMACZ J, GERNANEY K, DEMUYNCK C, et al. Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen up take rate (OUR) measurements[J]. Wat Res, 1996, 30(5) 1228-1236.

[12] 龙腾锐,何强,林刚. 活性污泥中丝状菌与絮体结构的关系研究[J]. 中国给水排水,2000, 16(2) 5-8.

Experimental study on influence of hydrodynamic shear stress on characteristics of activated sludge

FENG Qian, XUE Zhao-xia, WANG Hui, CHEN Li-na

(College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098, China)

Abstract Laboratory experiments were performed for study of the influence of hydrodynamic shear stress on the settlement characteristics and activity of activated sludge in SBR system. The influence mechanism of the hydrodynamic shear stress was analyzed by comparison of the morphological characteristics of activated sludge floc and the types of microorganism. The results show that activated sludge in SBR system is sensitive to the variation of hydrodynamic shear stress, and that the shear stress has some influences on the microorganic ecosystem of activated sludge. Therefore, it is feasible to adjust the settlement characteristics and activity of activated sludge in SBR system with hydrodynamic shear stress.

Key words hydrodynamic shear stress ; activated sludge ; SBR ; activated sludge floc