



城市污水强化处理的污泥性能与生物相相关性研究

曾晓岚, 张智, 丁文川, 许萍, 邓晓莉

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 应用生物絮凝吸附技术对城市污水进行强化一级处理试验, 对不同污泥负荷条件下污泥沉降性能及生物相的影响因素进行分析研究。

关键词: 生物絮凝吸附; 污泥沉降性能; 生物相; 城市污水

中图分类号: X701 文献标识码: A 文章编号: 1003-6504(2004)02-0024-04

随着我国城市化进程的迅速发展, 为解决城市水环境的污染负荷增加与治理投入有限之间的矛盾, 开发经济高效、具有可持续性的城市污水强化一级处理技术已经成为城市污水处理技术的发展趋势之一。在城市污水强化一级处理技术中, 生物絮凝吸附法是利用生物絮体对污染物质的物理吸附、化学吸附和生物吸附与吸收作用以及吸附架桥、沉淀物网捕等絮凝作用和生物氧化作用对城市污水进行处理的方法, 因不需投加药剂, 运行费用较低, 具有广阔的应用前景^[1]。

在采用生物絮凝吸附技术对城市污水进行强化一级处理的试验过程中, 生物絮凝吸附反应对有机物的去除, 主要是依靠污泥中微生物的凝聚、吸附作用(伴有一定的吸收及氧化分解作用), 污泥性状的改善、污泥中微生物活性及作用的提高都将直接影响处理效果^[2]。因此, 研究不同污泥负荷条件下($<2\text{kgBOD}_5/\text{kgMLSS} \cdot \text{d}$ 为中低污泥负荷, $\geq 2\text{kgBOD}_5/\text{kgMLSS} \cdot \text{d}$ 为高污泥负荷)污泥沉降性能及生物相的影响因素, 可保障生物絮凝吸附城市污水强化一级处理工艺设施的正常、高效运行。

1 试验材料与方法

1.1 试验流程

污水自高位水箱、经流量计至生物絮凝吸附反应池及沉淀池处理后排放。为控制不同水力停留时间, 生物絮凝吸附反应池的有效容积可以分别调节为 4.35L、3.84L、3.33L 和 2.56L; 沉淀池对应的有效容积分别为 19.20L、13.05L、8.15L、5.44L 和 4.33L; 污泥回流采用气提回流; 污水流量计量采用 LZB—4 型玻璃转子流量计, 气体流量计采用 LZB—3 和 LZB—2 型玻璃转子流量计; 曝气和空气提升回流的空气来自于两台 NS8200 型和一台 ACO—008B 型氧泵。

1.2 试验污水水质

(1) 中低污泥负荷的试验污水为重庆市杨公桥城市下水道污水。该污水有生活污水、食品加工厂、酿造厂、针织厂、纸箱厂等排放的工业废水, 是典型的城市污水。试验期间, COD 为 126~510mg/L, BOD₅ 为 72~145mg/L, SS 为 84~170mg/L, NH₃-N 为 13~40mg/L, TP 为 4.1~10.3mg/L, NO₃-N 为 1.6~2.2mg/L, pH 为 6.4~6.7, 水温为 10~14℃。

(2) 高污泥负荷的试验污水为上述城市污水加入一定比例奶粉、淀粉、葡萄糖、磷酸二氢钾、氯化铵等物质。试验期间, COD 为 120~519mg/L, BOD₅ 为 237~287mg/L, SS 为 67~230mg/L, NH₃-N 为 10~21mg/L, TP 为 6.1~12.1mg/L, NO₃-N 为 2.9~3.6mg/L, pH 为 5.8~6.4, 水温为 11~19℃。

1.3 测试项目及方法频率

采用光学显微镜观察试验过程中生物絮凝吸附反应池中活性污泥性状和微型动物种类, 每天镜检两次, 随时观察污泥外观。

2 试验结果及分析

2.1 水力停留时间的影响

试验条件: 污泥负荷 3.0kgCOD/kgMLSS·d、溶解氧 2.0mg/L。

2.1.1 污泥沉降性能

表 1 水力停留时间对 SV₃₀ 和 SVI 值的影响

水力停留时间 HRT(min)	SV ₃₀ (%)	SVI	SV ₃₀ 沉降过程及 可滤性观察
90	15.0	78.37	(1) 污泥浓度小于 2.5g/L 时, 污泥接近于自由沉淀, 即在短时间内即絮凝成较大颗粒, 并迅速下沉, 污泥沉降界面清晰, 沉降很快, 10min 内 SV 值几乎可达最大沉降比 SV ₃₀ ; 污泥浓度大于 2.5g/L 时, 污泥为成层沉淀, 即一开始就形成明显的浑液面和连续的污泥层, 沉降亦较快, 不到 30min 即可达最大沉降比 SV ₃₀ 。(2) 沉淀后上清液无可视悬浮物。进水中实际污水比例高时, 上清液较清澈, 透光性较好; 而配水比例高时, 上清液略带点乳白色, 透光性较差。(3) 污泥可滤性好, 滤速很快。
72	15.0	76.26	
60	14.0	68.29	
48	18.3	75.43	
30	17.8	70.66	
18	18.8	69.07	

由表 1 可知: (1) 当水力停留时间 HRT 由 18min 增至 90min 时, 氧化作用明显, 絮体结构密度增加, 污

泥沉降指数 SVI 呈现增长趋势,反之亦然。(2)在 HRT 范围内,颗粒初期沉速较大,能很快达到最大沉降水平,SV₃₀ 为 18.8%~14.0%,与污泥浓度值有关。

2.1.2 污泥外观与生物相

(1)随着水力停留时间 HRT 由小到大的变化,污泥外观无变化,而在整个试验过程中,曝气池混合液污泥皆为土褐色,泥粒清晰可见,固液两相分明,污泥略带土腥味。

(2)随着水力停留时间 HRT 由小到大变化,污泥及微生物种类均较为稳定,所有单个较小污泥颗粒结构较为紧密(见图 1),通过藤状物桥连起来的污泥之间有较大空隙(见图 2);微生物以细菌为主,完全占优势地位,也有少量木盾 纤虫、累枝虫、线虫、钟虫等。

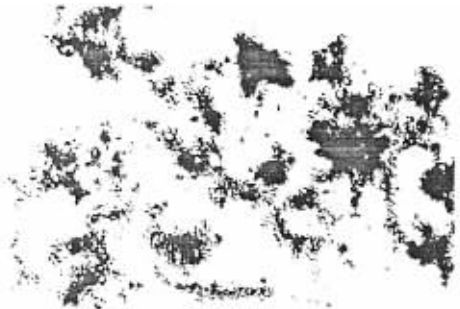


图1 水力停留时间与高溶解氧试验阶段
藤状物桥连污泥性状镜检照片 (x160)

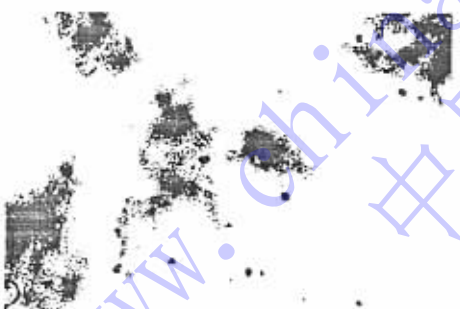


图2 水力停留时间与高溶解氧试验阶段
单个较小污泥性状镜检照片 (x160)

2.2 污泥负荷的影响

试验条件:高污泥负荷下,水力停留时间 0.8h、溶解氧 2.0mg/L。

2.2.1 污泥沉降性能

由表 2 可知:(1)随着污泥负荷由 1.93kgCOD/kgMLSS·d 增至 3.82kgCOD/kgMLSS·d,污泥沉降指数 SVI 值在 66~71 之间波动,幅度较小,较为稳定;而当污泥负荷由 3.82 kgCOD/kgMLSS·d 增至 5.00 kgCOD/kgMLSS·d 时,SVI 值则由 68.85 逐渐上升至 95.77,差值为 27,幅度较大。总的说来在污泥负荷不超过 5.00 kgCOD/kgMLSS·d 的范围内,SVI 值皆小于 100,故污泥沉降性能较好,说明生物絮凝吸

附法处理城市污水具有较强的承受冲击负荷能力。

(2)当污泥负荷超过 5.3 kgCOD/kgMLSS·d 后,SVI 值骤然超过 200,污泥发生膨胀,沉降性能迅速下降,由于微生物种属的变化而最终使出水水质恶化。(3)在 SVI 值大于 200 的污泥膨胀期开始时,出水十分清澈,COD、SS 去除率极高;随着试验的进行,SVI 值继续大幅增加,二沉池泥面不断升高直至污泥随水流失。由此可见,SVI 值异常高的状态为不可持续的异常状态,应尽可能避免。(4)因要获得 SVI 值需先测试 MLSS 值,但需时较长,而在 SV₃₀ 沉降过程及其过滤过程中所观察到现象的警示作用能够更为快捷、方便地反映出异常情况的发生^[3],故在实际运行管理中可将对 SV₃₀ 沉降过程及其过滤过程的观察作为衡量指标。

表 2 污泥负荷的影响

污泥负荷 (kgCOD/kgMLSS·d)	SV ₃₀ (%)	SVI	SV ₃₀ 沉降过程及可滤性观察
1.93	14.5	68.33	(1)污泥浓度小于 2.5g/L 时,污泥接近于自由沉淀,即在短时间内即絮凝成较大颗粒,并迅速下沉,污泥浓度大于 2.5g/L 时,污泥为成层沉淀,即一开始就形成明显的浑液面和连续的污泥层,沉速亦较快。 (2)二者皆能在短时间内达到最大沉降比 SV ₃₀ ,沉降后上清液为浅乳白色,透光性较差,无可视悬浮物。 (3)污泥可滤性好,滤速很快。
2.45	16.5	70.33	
2.81	17.0	66.77	
3.15	19.5	69.92	
3.82	21.0	68.85	
4.06	22.5	79.76	
4.77	21.0	84.58	
5.00	21.5	95.77	
5.30	>200		(1)污泥浓度大小,污泥一开始就形成明显的浑液面和一污泥层,边缘界限异常清晰,但沉速极慢,30min 内达不到甚至远离其最大沉降比 SV ₃₀ 。 (2)上清液十分清晰,透光性好,无可视悬浮物。 (3)可滤性差,滤速极慢。

2.2.2 污泥外观与生物相

(1)在污泥负荷不超过 5.0kgBOD₅/kgMLSS·d 范围内,污泥外观为土褐色,泥粒清晰,泥水分明,污泥气味正常;当污泥负荷大于 5.0kgBOD₅/kgMLSS·d 时,污泥外观为灰褐色,泥水浑浊,曝气池内壁飘有白色絮状物,且二沉池泥粒亦似絮状,显得质轻松软,无不良气味。

(2)在污泥负荷小于 5.0kgBOD₅/kgMLSS·d 范围内,污泥无大的变化,即大部分污泥通过桥连作用连接为具有一定孔隙的较大污泥,少部分污泥则独立存在,结构紧密;当污泥负荷等于 5.0kgBOD₅/kgMLSS·d 时,污泥结构较密实,却由于丝状菌有所滋生而使污泥有些零乱,但此时藤状物的桥连作用仍能单独的小污泥连在一起形成较大污泥(见图 3),污泥仍以较快速度增长;当污泥负荷超过 5.0kgBOD₅/kgMLSS·d 时,单个污泥颗粒结构松散,丝状菌的大量长丝阻碍了污泥颗粒间的联系,污泥生长完全受到抑制。

(3)在污泥负荷小于 5.0kgBOD₅/kgMLSS·d 的范围内,微生物以细菌为主并保持绝对优势,其他还存在极少量的木盾 纤虫、累枝虫、钟虫,未发现丝状菌;当污泥负荷等于 5.0 kgBOD₅/kgMLSS·d 时,出现少

表 3 溶解氧的影响

溶解氧 (mg/L)	SV ₃₀ (%)	SVI	SV ₃₀ 沉降过程及可滤性观察
0.2	19.5	83.33	(1)在沉降过程中,一开始就形成明显的污泥沉降层,成层连续下沉,沉降较快,不到 30min 即可达到最大沉降比 SV ₃₀ 。 (2)沉降后上清液无可视悬浮存在,出水略显乳白色,透光性不好。 (3)污泥可滤性好,滤速很快。
0.4	21.0	82.35	
0.7	22.5	80.82	
1.0	19.5	76.89	
2.0	17.5	68.01	
2.5	15.5	64.29	

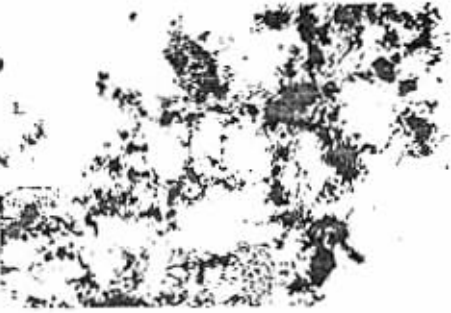


图3 污泥负荷等于5.0kgBOD₅/kgMLSS·d时的污泥性状镜检照片(x160)

量丝状菌,但细菌仍占据主导地位(见图 4),其他亦存在有极少量的钟虫等原生动物;而当污泥负荷大于5.0 kgBOD₅/kgMLSS·d 时,丝状菌则迅速生长,很快占据主导地位。污泥越来越少,只占很小比例,钟虫、木盾纤虫等也基本绝迹,累枝虫则依附于曝气池壁上异常增殖,形成曝气池壁上的白色絮状物(见图 5)。



图4 发生膨胀时的污染性状镜检照片(x160)

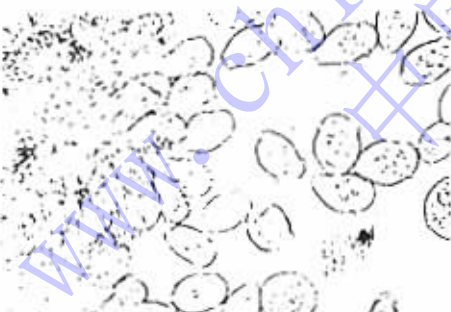


图5 污泥膨胀阶段伴生的果枝虫异常增殖状况镜检照片(x160)

2.3 溶解氧的影响

试验条件:污泥负荷 3.60kgCOD/kgMLSS·d,水力停留时间 0.8h。

2.3.1 污泥沉降性能

由表 3 可知:(1)随着混合液中溶解氧由 0.2mg/L 增至 2.5mg/L,吸附的有机物分解、氧化使污泥的结构更密实,于是污泥沉降指数 SVI 呈现出缓慢下降趋势,其值从 83.33 下降到 64.29,属于正常范围。(2)SV₃₀ 沉降过程具有较大的初期速度,能很快达到最大沉降水平,且过滤速度较快,故说明污泥沉降性能较好。

2.3.2 污泥外观与生物相

(1)随着曝气量由 0.78L/min 增至 1.07L/min,溶解氧由 0.2mg/L 增至 2.5mg/L,污泥颜色由深褐色逐渐变为正常的土褐色,泥水则始终较为分明,无不良气味。

(2)在曝气量由 0.78L/min 增至 1.07L/min、溶解氧由 0.2mg/L 增至 2.5mg/L 的变化过程中,污泥结构由较为松散、形状较小逐渐变为大而密实(低溶解氧污泥形状见图 6,高溶解氧污泥性状与不同水力停留时间试验阶段相似,见图 1、图 2);微生物虽皆以细菌为主,但在高溶解氧时存在的极少量的木盾纤虫等原生动物在低溶解氧时则完全消失。

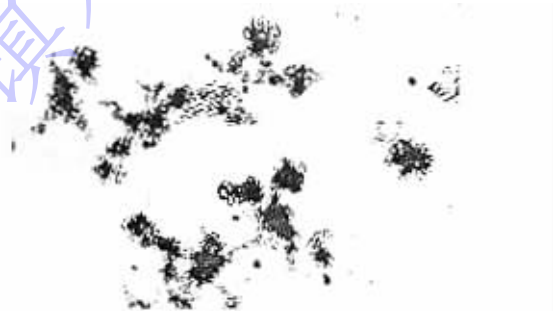


图6 低溶解氧试验阶段污泥性状镜检照片(x160)

2.4 推荐工艺运行条件的影响

中低污泥负荷(<2kgBOD₅/kgMLSS·d)的运行条件为:污泥负荷 0.55~1.01 kgBOD₅/kgMLSS·d、溶解氧 2.0mg/L、水力停留时间为 1.5h、污泥浓度 1.7g/L;

高污泥负荷(≥2kgBOD₅/kgMLSS·d)的运行条件为:污泥负荷 2.431~2.897kgBOD₅/kgMLSS·d、溶解氧 1.0mg/L、水力停留时间 1.1h。

2.4.1 污泥沉降性能

由表 4、表 5 知:(1)污泥沉降指数 SVI 值在中低污泥负荷的运行条件下比在高污泥负荷的运行条件下略高,前者 SVI 值为 67.64~86.92,平均值为 80.27;后者 SVI 值为 66.09~74.77,平均值为 68.06。(2)两种条件下的 SVI 值皆小于 90,污泥沉降性能皆较好。

(下转第 86 页)

(上接第 26 页)

(3)SV₃₀ 沉降过程在中低污泥负荷的运行条件下与在高污泥负荷的运行条件下相比有一定差别:前者污泥浓度较低,故沉降初始时刻污泥凝聚过程清晰;后者污泥浓度相对较高,其初始时刻污泥即形成沉降层,凝聚过程不明显。(4)滤速在中低污泥负荷的运行条件下比在高污泥负荷的运行条件下要略快些,原因可能是与后者采用的人工配水有机物比例较高有关。

表 4 中低污泥负荷的运行条件对 SV₃₀ 和 SVI 值的影响

试验日期	SV ₃₀ (%)	SVI	SV ₃₀ 沉降过程及可滤性观察
1998-02-20	15.0	80.25	(1)污泥沉降过程中短时间内即絮凝成较大颗粒,并迅速下沉,30min 内即可达到最大沉降比,接近于自由沉淀。
1998-02-21	15.0	78.53	
1998-02-22	14.5	80.78	
1998-02-23	15.0	83.01	
1998-02-24	16.5	81.28	
1998-02-25	14.5	75.75	(2)沉降后其上清液较清澈,无可视悬浮物,透光性较好。
1998-02-26	21.0	86.92	
1998-02-27	16.5	83.76	
1998-03-03	17.5	85.08	(3)污泥可滤性好,滤速很快。
1998-03-07	12.0	67.64	
1998-03-09	15.5	79.69	
平均值		80.27	

表 5 高污泥负荷的运行条件对 SV₃₀ 和 SVI 值的影响

试验日期	SV ₃₀ (%)	SVI	SV ₃₀ 沉降过程及可滤性观察
1998-07-18	16.5	71.27	(1)污泥沉降过程中大部分开始即形成连续下沉的污泥层,具有明显的浑液面,沉降较快,即为成层沉淀。
1998-07-19	14.5	68.17	
1998-07-20	15.5	70.23	
1998-07-21	11.0	60.98	(2)沉降后其上清液略显乳白色,无可视悬浮物,透光性较差。
1998-07-22	14.0	64.61	
1998-07-23	19.0	74.77	
1998-07-24	14.0	68.36	
1998-07-25	14.5	66.09	(3)污泥可滤性好,滤速很快。
平均值	14.9	68.06	

2.4.2 污泥外观与生物相

(1)在中低污泥负荷的运行条件与高污泥负荷的运行条件下,污泥外观颜色皆为正常的土褐色,但后者的污泥颜色要较前者稍深一些;两种条件下污泥颗粒

皆较为清晰,固液两相分明,无不良气味。

(2)污泥在中低污泥负荷运行条件下比在高污泥负荷运行条件下显得细小、分散,原因是前者正处于冬末春初季节,温度较低(一般 12℃ 左右),微生物活性不足;后者正值夏季,处于微生物温度最适范围(27℃ 左右),微生物具有很高活性^[4]。另两种条件下细菌均占绝对优势,亦存在少量木盾 纤虫、钟虫等原生动物。

3 结论

(1)在污泥负荷≥2kgBOD/kgMLSS·d 前提下,当 HRT 由 18min 增至 90min 时,污泥沉降指数 SVI 呈现增长趋势,SV₃₀ 沉降过程仅与污泥浓度值有关,污泥外观、污泥及微生物种类均较为正常稳定;当污泥负荷不超过 5.00 kgCOD/kgMLSS·d 时,污泥沉降性能较好,污泥外观、污泥及微生物种类也较为正常稳定;当溶解氧由 0.2mg/L 增至 2.5mg/L 时,污泥沉降指数 SVI 呈现出缓慢下降趋势,且 SV₃₀ 沉降过程具有较大的初期速度,污泥沉降性能较好,污泥结构较为松散,微生物虽皆以细菌为主,但在高溶解氧时存在的少量的木盾 纤虫等原生动物在低溶解氧时则完全消失。

(2)在推荐的中低污泥负荷运行条件下的污泥性能与高污泥负荷运行条件下的相比,前者污泥沉降性能略好于后者,且沉降初始时刻污泥凝聚过程也较清晰;并且,前者污泥外观颜色稍深,污泥更为细小、分散,但两者的微生物种类相同。

[参考文献]

[1] 涂兆林.我国城市污水处理现状与发展对策[J].市政技术,1997,2.
[2] 许保玖,龙腾锐.当代给水与废水处理原理(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2000,9.
[3] 哈尔滨建筑工程学院.排水工程(第二版)下册[M].北京:中国建筑工业出版社.
[4] 武汉大学,复旦大学生物系.微生物学(第二版)[M].北京:高等教育出版社,1988.

(收稿:2003-01-10;修回:2003-06-23)