

受污染源水的生物预处理中试研究

陈洪斌^{1,2}, 梅 翔³, 高廷耀¹, 周增炎¹

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 大港油田 博士后工作站, 天津 300280;
3. 南京大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 中试研究表明, 大型源水生物处理工程采用生物接触氧化技术除污染是完全可行的, 主要污染物的去除效率高, 而且启动迅速、填料容易挂膜。生物膜成熟时每克填料上的细菌数量达 $10^6 \sim 10^7$ 个, 膜上的动物种类繁多, 数量大。影响生物处理池稳定运行的主要因素有泥沙在填料上的过度积累和某些后生动物的大量生长。通过试验提出了工程控制的措施。

关键词: 污染源水; 生物接触氧化; 预处理; 生物膜

中图分类号: X 52

文献标识码: A

文章编号: 0253-374X(2001)10-1240-06

Pilot-scale Study on Polluted Raw Water Bio-pretreatment

CHEN Hong-bin^{1,2}, MEI Xiang³, GAO Ting-yao¹, ZHOU Zeng-yan¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Dagang Oilfield Postdoctoral Working Station, Tianjin 300280, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: According to pilot-scale experiment result and practical run, it is feasible to implement bio-treatment project with biological contact oxidation technique (BCOT) treating polluted raw water, its start-up period is quick and biofilm formation is easy, and the major pollutants can be removed efficiently. In mature biofilm, the amount of bacteria get to $10^6 \sim 10^7$ per gram packings; the variety and quantities of protozoan and metazoan is plentiful. Several factors influencing bio-treatment project run result were studied and their controlling methods were suggested in the article.

Key words: polluted raw water; biological contact oxidation technique; bio-pretreatment; biofilm

近年来,“水质型”缺水已成为我国许多地区水资源短缺的祸首,主要原因是源水中有有机物、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等含量高,且常规净水流程无法有效去除这些污染物,还会产生某些消毒副产物^[1,2]。生物接触氧化处理技术(BCOT)是一种高效的源水预处理技术,利用富集培养于填料上的各类微生物,在 O_2 存在时将水中的多种污染物彻底氧化、分解,从而净化水质。BCOT 技术可处理受污染河水、富营养化湖水或地下水,有除污染效果好,经济合理等优点^[3~6]。20 世纪 90 年代中期该技术在我国进入生产应用阶段^[7,8]。

我国南方地区的某些水源水污染十分严重,水温相对较高,适宜于生物预处理。如某引水渠日供应水量巨大(400 万 t),但水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$, BOD_5 , COD_{Mn} 等质量浓度较高。小试研究结果表明,采用生物接触氧化工艺处理该源水是切实可行的,为了解该工艺长期运行时的处理效果和设计工程参数,开展了一年多的中试研究。根据研究结果而建成的特大型源水生物处理工程(400 万 $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$),运行已超过两年,除污染效果良好,而且稳定。以下是该中试的研究结果。

1 材料和方法

1.1 源水的水质

试验期间,污染源水的月均水质状况见表 1。由表中可见,受供水渠沿岸工业废水和生活污水的影响,

收稿日期:2000-07-11

作者简介:陈洪斌(1970-),男,四川渠县人,工学博士。

源水的多种污染物的浓度均较高,在夏季,水中的藻类数量达 $10^7 \sim 10^8$ 个 $\cdot L^{-1}$ 。

表 1 源水的月均水质状况

Tab.1 Concentration of pollutants in raw water monthly

日期	温度 / $^{\circ}C$	pH	$\rho_{NH_3-N}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{NO_2^- - N}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{NO_3^- - N}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{COD_{Mn}}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{BOD_5}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{SS}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{Fe^{+}}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{Mn^{+}}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)
1997-04	24.3	7.15	2.57	0.059	0.836	3.25	—	—	0.81	0.221
1997-05	26.5	7.12	3.29	0.083	0.838	4.36	—	—	0.22	0.182
1997-06	28.0	7.10	3.32	0.092	0.974	4.45	2.95	16.7	0.44	0.114
1997-07	26.7	7.15	2.67	0.115	2.100	3.99	2.82	17.6	0.92	0.470
1997-08	29.3	6.97	2.55	—	—	—	—	12.2	0.45	0.169
1997-09	27.7	7.17	4.08	0.121	0.750	5.18	3.59	18.2	—	—
1997-10	26.5	7.12	3.16	0.112	—	4.41	—	22.5	0.43	0.506
1997-11	22.1	6.89	3.01	0.083	0.544	3.56	3.36	22.4	0.43	0.213
1997-12	18.4	6.82	3.47	0.078	0.656	3.70	3.44	17.7	0.64	0.267
1998-01	16.9	6.79	3.81	0.029	0.786	4.24	—	13.8	—	—
1998-02	17.3	6.79	3.69	—	—	4.10	4.72	17.3	—	—
1998-03	19.3	6.86	4.15	—	—	4.37	5.42	19.9	1.06	0.266

注:表中数据由试验的进水统计而得;*表示从月报表中统计而得。

1.2 试验装置的工艺流程

鼓风机
↓
源水→潜水泵→量水堰→进水配水池→生物接触氧化池→出水配水池→出水渠

1.3 中试装置和材料

A,B 两座生物接触氧化池,混凝土结构,尺寸均为 $20.00 m \times 1.00 m \times 4.30 m$,有效体积均为 $76.0 m^3$,日处理水量为 $1800 \sim 26700 m^3$;生物处理池采用微孔曝气或穿孔管曝气方式,填料长度为 $3 m$,聚丙烯材质。此外,有两个钢制装置,称为 C 槽、D 槽,有效体积均为 $1.15 m^3$,用于补充试验。

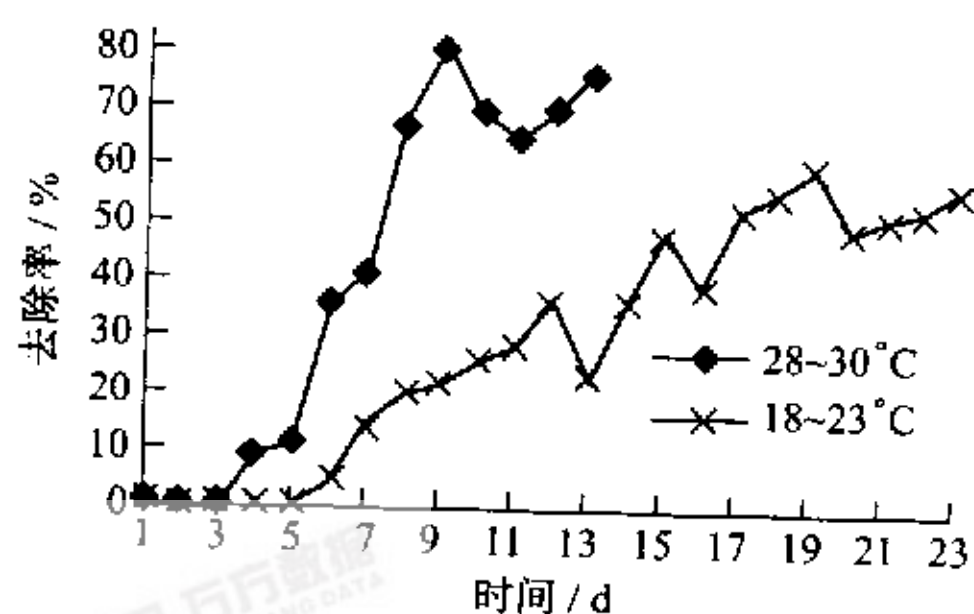
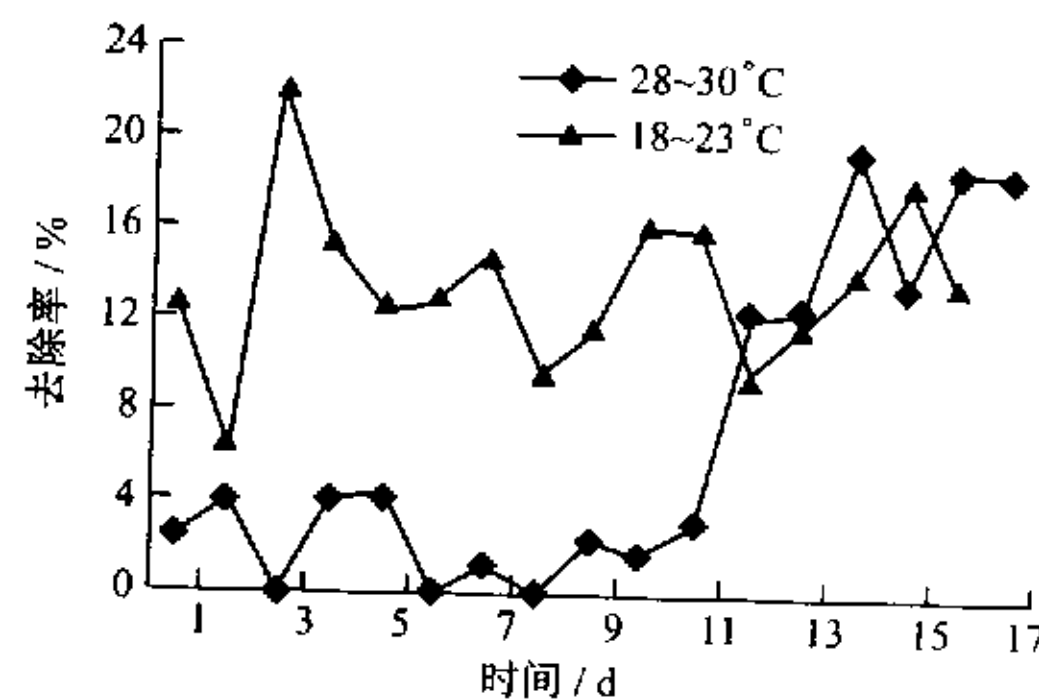
1.4 测试项目

有 NH_3-N , $NO_2^- - N$, COD_{Mn} , BOD_5 , SS , 浊度, Fe , Mn 及藻类等。分析方法与文献[9]同。硝化细菌采用 Buhopagckud 培养基、 $28 \sim 30^{\circ}C$ 液体或固体培养基中培养,MPN 法计数细菌数量;异养细菌采用营养琼脂培养基和牛肉蛋白胨培养基,稀释固体平板计数。观察填料从处理池取出后,立即镜检生物膜的状况和生物相。

2 结果与讨论

2.1 生物处理池的启动效果

污染源水生物接触氧化预处理装置启动时,污染物的去除效果以及池内的 pH, DO 及生物膜状况呈规律性的变化,可用 $NH_4^+ - N$ 和 COD_{Mn} 的去除效果变化作为启动的宏观指标。本试验在两种水温条件下的污染物去除效果见图 1 和图 2。从图可见,处理池的启动与水温有明显关系,高于 $25^{\circ}C$ 时,两周左右处理池就能启动成功, $20^{\circ}C$ 以下则需三周至四周。

图 1 启动过程的 NH_3-N 去除率的变化Fig.1 Change of NH_3-N removal rate in start-up period图 2 启动过程的 COD_{Mn} 去除率的变化Fig.2 Change of COD_{Mn} removal rate in start-up period

处理池启动时填料上的细菌数量增长很快.挂膜过程的中后期每克填料纤维上的硝化细菌和异养细菌数量分别达到 $10^6 \sim 10^7$ 个.填料上生物膜的变化由点状分散的菌胶团逐渐形成一层均匀而致密的生物膜,而且膜上的动物丰富.

2.2 污染物的去除效果

为研究大型源水生物处理工程的污染物去除效果,中试装置稳定运行了 16 个月,除污染效率很高.现分述如下.

2.2.1 主要污染物的去除效果

$\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Mn} 的去除率见表 2. 进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量浓度范围是 $2.67 \sim 3.94 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率为 $45.4\% \sim 83.5\%$. 从表中可见, 较高的气水比既可促进污染物和 O_2 等的传质, 又能保持池内较高的 DO 质量浓度, 达到好的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效率. 试验表明, 池内 ρ_{DO} 不低于 $5.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时可满足 $\text{NH}_3\text{-N}$ 彻底氧化的需要, 故采用穿孔管曝气, 气水比不低于 1.00 时能满足 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除的目的. COD_{Mn} 的进水质量浓度一般为 $4 \sim 6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均去除率为 $15\% \sim 30\%$ 之间, DO 对 COD_{Mn} 去除率的影响不明显.

增大水力停留时间 t_{HR} , 可以提高 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Mn} 的去除率. 但水温 20°C 以上, 当 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量浓度为 $2 \sim 4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, t_{HR} 增大到 60 min 以上时, 污染物的去除率增加幅度不大. 温度对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除的影响较大, 尤其是小于 20°C 时(见图 3). 异养细菌种类多, 水温为 15°C 左右时, COD_{Mn} 仍能保持 $10\% \sim 25\%$ 的去除率.

进水 BOD_5 的质量浓度为 $2 \sim 4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 不同的气水比和 t_{HR} 的 BOD_5 去除率变化较小, 平均为 $34.9\% \sim 47.6\%$.

表 2 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 的去除效果

Tab.2 Removal efficiency of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD_{Mn}

气水比	水温/ $^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{DO}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho_{\text{NH}_3\text{-N}}$			$\rho_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$	
			进水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	去除率/ $^\circ\text{C}$	去除负荷率/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$	进水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	去除率/ $\%$
1.30	28.2	5.71	3.15	83.5	3.16	4.08	17.2
1.20	26.7	5.21	2.67	75.7	2.42	3.99	16.5
1.00	27.3	6.02	2.80	76.1	2.56	4.18	17.5
0.90	27.7	5.02	2.88	68.4	2.36	4.14	19.6
0.80	27.8	3.84	3.94	45.4	2.15	4.97	22.7

注:生物处理池采用穿孔管曝气方式, t_{HR} 为 50 min; 表中数据为每个工况的平均值.

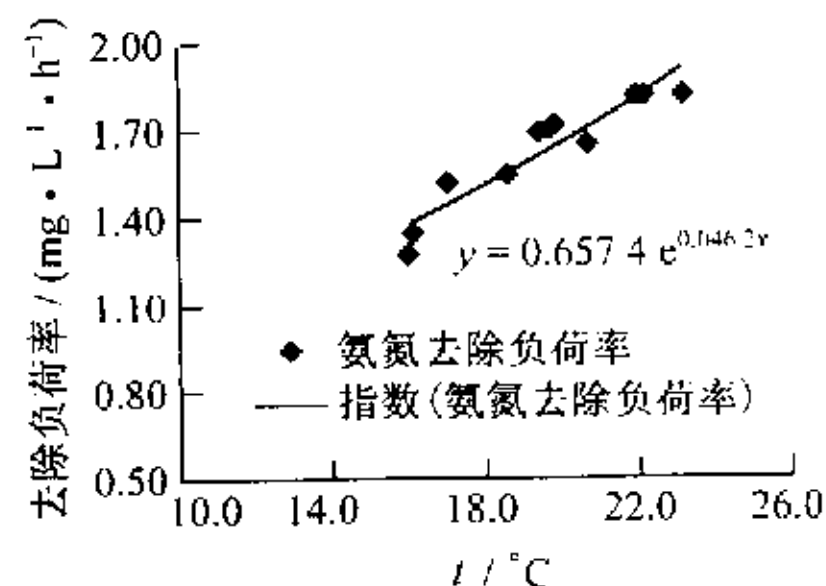


图 3 不同温度的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除负荷率

Fig.3 $\text{NH}_3\text{-N}$ Removal loading rate at different temperature

2.2.2 SS 和浊度

生物处理池对 SS 和浊度有一定的去除效果:SS 的去除率为 $44.3\% \sim 72.1\%$; 浊度的平均去除率为 $36.7\% \sim 66.4\%$ 之间, t_{HR} 越大、气水比越小, SS 和浊度的去除效率越好.

生物处理池对源水 SS 的去除是以滞留于填料和池底达到的, 对生物处理池的长期稳定运行有害, 应尽量避免 SS 进入池内或防止 SS 在填料上积累.

2.2.3 其它污染物

生物处理池夏季对源水藻类的去除结果见表 3. 藻类的去除率范围为 $54.4\% \sim 71.5\%$, 总平均去除率为 64.2% , 其中蓝藻的平均去除率为 62.4% , 绿藻、硅藻分别为 59.5% 和 69.0% .

表 3 生物处理池的藻类去除效果

Tab.3 Removal efficiency of algae

工况 (t_{HR} , 气水比)	温度/ $^\circ\text{C}$	藻总数/ $(10^7 \text{ 个}\cdot\text{L}^{-1})$		蓝藻/ $(10^7 \text{ 个}\cdot\text{L}^{-1})$		绿藻/ $(10^7 \text{ 个}\cdot\text{L}^{-1})$		硅藻/ $(10^7 \text{ 个}\cdot\text{L}^{-1})$	
		进水	去除率/%	进水	去除率/%	进水	去除率/%	进水	去除率/%
50, 1.33	27.6	21.0	71.4	9.4	74.5	6.7	55.2	0.82	69.5
50, 1.44	26.8	19.3	64.8	8.9	57.3	6.8	70.6	1.00	60.0
54, 1.20	29.9	26.9	67.3	13.9	69.1	9.1	62.6	0.43	82.3
54, 1.44	29.1	19.1	54.4	12.0	51.8	4.0	52.8	0.56	80.4
60, 1.44	29.5	22.0	55.9	15.7	59.2	4.0	56.3	0.55	52.7
60, 1.60	27.4	39.7	71.5	21.5	71.3	12.7	71.4	1.17	67.5

注: t_{HR} 的单位是 min, 每个工况稳定运行一周以上.

进水 Fe, Mn 的质量浓度一般为 $0.50 \sim 1.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.20 \sim 0.45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 经生物接触氧化处理后, Fe 的去除率为 $24.1\% \sim 43.0\%$; Mn 的去除率达 $44.6\% \sim 64.9\%$ 。

根据中试研究结果而设计建设的特大型源水生物处理工程(处理水量为 $400 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), 采用了穿孔管曝气方式, 气水比为 $0.8 \sim 1.2$, t_{HR} 采用 $50 \sim 60 \text{ min}$, 填料采用 YDT 弹性立体填料等工艺设计参数。目前工程已稳定运行两年多, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率超过 75% , 对 COD_{Mn} , SS, 浊度, 藻类及 BOD_5 也有很好的去除效率。

2.3 生物膜状况

2.3.1 细菌的数量和分布

填料上成熟的生物膜呈褐色至深褐色, 厚度变化于 $0.02 \sim 1.00 \text{ mm}$, 有细菌、动物、藻类及无机成份等。膜上的细菌主要是好氧细菌, 硝化细菌和异养细菌是优势类群。研究表明: 硝化细菌有亚硝化单胞菌、亚硝化球菌和硝化杆菌; 异养细菌的优势细菌属是假单胞菌属、克雷伯氏菌属、不动杆菌属等。生物处理池稳定运行时硝化细菌和异养细菌的数量见表 4。

表 4 生物处理池硝化细菌和异养细菌的数量

Tab. 4 Quantities of nitrifying bacteria and heterotrophic bacteria

每克填料的个数

项 目	生物处理池					试验装置	
	进水端	前段	中段	后段	出水端	C 槽	D 槽
亚硝化细菌	1.40×10^6	2.00×10^6	0.90×10^6	0.40×10^6	4.00×10^6	0.70×10^7	4.50×10^7
硝化细菌	1.40×10^6	1.40×10^6	0.90×10^6	0.35×10^6	1.40×10^6	0.30×10^7	1.10×10^7
异养细菌	1.30×10^8	7.20×10^7	6.10×10^7	1.10×10^7	0.64×10^7	5.00×10^6	2.50×10^6

由表 4 可见, 填料上的细菌数量多, 这与生物处理池有较高的污染物去除效率密切相关。每克填料纤维的亚硝化细菌和硝化细菌数量一般为 $10^6 \sim 10^7$ 个, 异养细菌的数量也是 $10^6 \sim 10^7$ 个, 这与陶粒填料生物预处理的测定结果相似^[10]。

2.3.2 动物的组成与分布

同污水生物膜法处理不同的是, 源水生物预处理填料上固着或附着生长的动物占绝大多数, 其中钟虫、累枝虫、喇叭虫、鞘居虫、吸管虫等是原生动物的优势种群; 线虫、轮虫(多种)、环节动物、水蚤等是后生动物的优势种群; 苔藓虫、椎实螺是本试验首次出现并大量生长的较高等后生动物。膜上动物种类繁多, 优势动物数量很大, 绝大多数是清水性动物, 喜居于水质好的环境, 动物形成的食物链很长。

生物处理池运行状况良好时, 池沿程的动物种类与数量均逐渐减少(见图 4、5)。池沿程动物的分布规律与污染物的去除效果呈正相关, 当 $\text{NH}_3 - \text{N}$, COD_{Mn} 的去除效率高且发生于池的前中段时, 则动物的分布有显著规律性, 否则分布混乱。因此, 可以利用处理池沿程动物的组成和数量变化来反映污染物的去除效果。

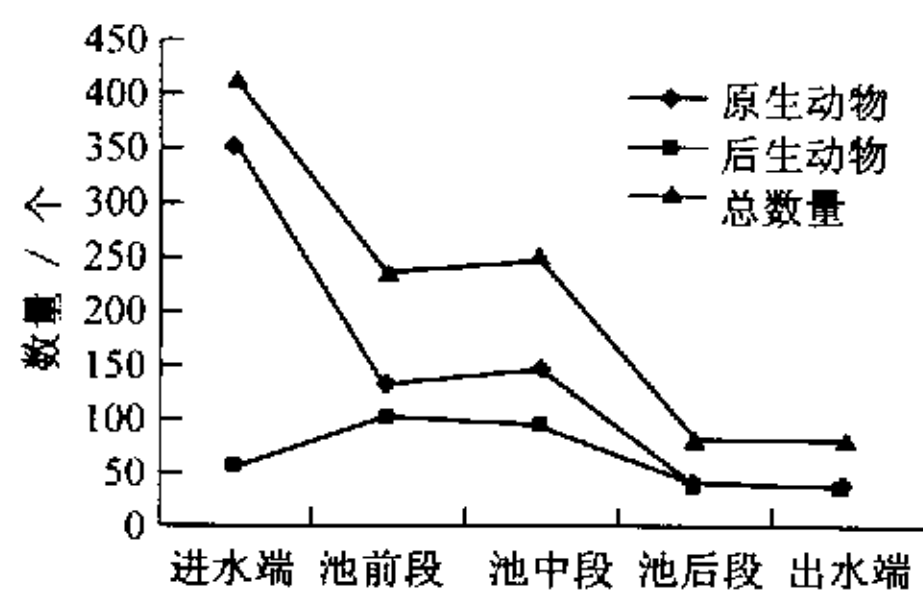


图 4 处理池沿程的动物数量变化

Fig. 4 Quantities variation of microzoa downward bio-treatment pond

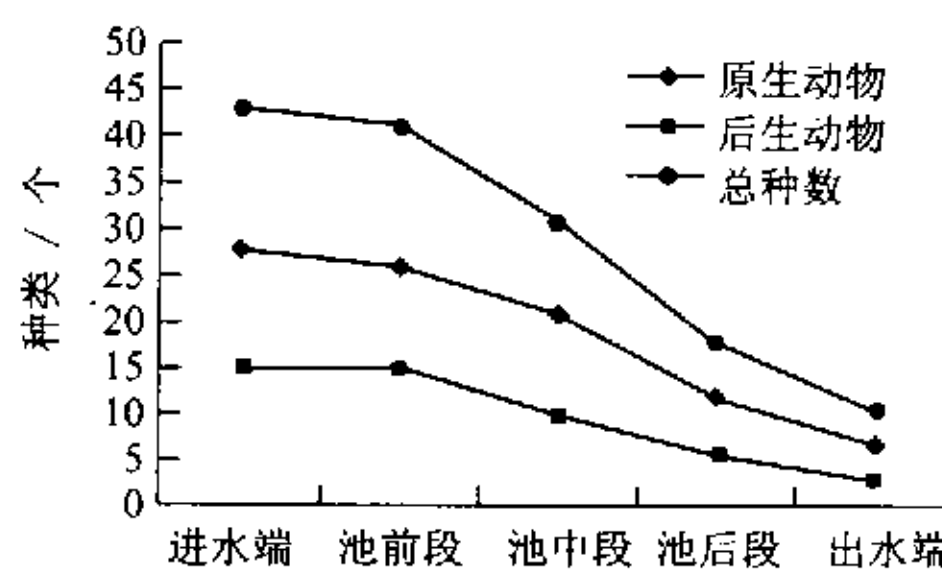


图 5 处理池沿程微型动物的种类分布

Fig. 5 Microzoo species distribution downward biotreatment pond

2.4 源水生物预处理运行的影响因素与调控

2.4.1 SS 对生物预处理的影响及清除

(1) SS 对生物预处理运行的影响

源水的 SS 以粘土和粉泥为主, 试验测得粒径小于 $5 \mu\text{m}$ 的细粉泥达 56% 左右。泥沙在填料上妨碍和

屏蔽生物膜与水中污染物、DO 的传质;同时,泥沙积累后导致纤维丝集结成束,总有效表面积降低,也影响了生物处理池的运行.试验表明,严重积泥的填料代谢活性很低,在相同的工况条件下对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Mn} 的去除率分别比少泥填料低 15.7% 和 10.1%.可见,运行过程适时对冲泥十分必要.

(2) 填料上积泥的冲除

清除填料积泥的较好方式是气水冲泥.大型源水生物处理工程一般采用推流式池型,填料层的水阻大,各水层的水流速度不同.本试验模拟该特大型工程原体,在停止进水、进水量为正常的一半和完全正常时的气流上升路径均不相同,因此通过调节池底水流速度来改变气流的上升轨迹,从而可以采用一套穿孔管曝气系统和较小的反冲气强度达到填料冲泥的目的.根据试验,提出了一种适合于特大型源水生物处理工程的变速气水冲泥法.即填料冲泥时适当增大曝气强度,同时改变池底水的流速,这样在不停机的条件下实现了填料的冲泥和连续运行.该工程运行时的冲泥曝气强度为 $9.12\sim 9.56\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,即 $2.53\sim 2.66\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,远低于常规气水冲泥中的曝气强度.

2.4.2 填料上苔藓虫的异常生长与控制

中试研究首次发现了苔藓虫在填料上的爆发性生长.它们属于羽苔虫 (*Plumatella. sp*),在珠江水系的多个源水生物预处理装置中也曾先后发现过.苔藓虫喜欢生活于含氧丰富的水体,以水中的游离细菌、微小动物、藻类、脱落的生物膜、有机碎粒等为食.当它附着于填料纤维或生物膜后,形成丛状或苔藓状群体结构.苔藓虫在池内正常生长时,有利于净化水质的作用.

生物处理池模拟工程原体流速 ($0.081\text{ 3 m}\cdot\text{s}^{-1}$) 试验时,填料上出现爆发性生长的苔藓虫群体,两个月后,生长趋势减弱.某源水生物处理工程投产后也发现其过量生长的现象.

苔藓虫爆发性生长后,填料重量增加一倍以上,生物膜结构发生了显著改变.生物处理池苔藓虫生长稳定后对污染物的去除影响不大.如 1997 年 10 月 13 日至 24 日,填料上的苔藓虫数量基本稳定, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率为 17.1%, COD_{Mn} 去除率平均为 3.67%,高于生物膜正常时处理池同样工况的污染物去除率.

苔藓虫在填料上爆发性生长时,如果进水 SS 含量较高,填料容易积泥,池内过水阻力增大,不利于源水生物处理工程的长期运行.当其影响突出时可用机械冲洗的方式将其从填料上清除.

2.4.3 软体动物的大量生长与清除

试验期间,处理池内可见到一种体小的腹足类软体动物—椎实螺 (*Galba pervia*),曾多次大量生长,对生物处理效果产生一定影响.椎实螺是生物膜上食物链的最后一个环节,几乎没有天敌,当其进入处理池后,优先取食膜上的原生生物、藻类;其次是后生动物,然后是生物膜.成熟的椎实螺啃食生物膜的速率很快,在小试装置中放入生物膜状况良好的填料和椎实螺,培养前后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除变化见表 5.填料在试验前生物膜均匀致密,膜上的动物很多,而 2.5 d 后部分填料纤维丝变得光亮,无动物.

静置水力清除法可有效地清除池内的椎实螺.根据试验,当椎实螺在池内大量生长时,

生物处理池停运几小时以上,螺浮出水面后再向池内正常进水(不曝气),将其排出池外或捞除.该法在工程上易于实施,但无法彻底清除,每隔一段时间应再次清除.

表 5 加入椎实螺后生物处理效果的变化

Tab.5 Pollutants removal efficiencies before and after putting *Galba pervia* into bench-scale biotreatment pond

时间	项目 编号	t_{HR}/h	pH		进水质量浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	1 h 后	$\text{NH}_3\text{-N}$	
			进水	1 h 后			去除率/%	去除负荷率/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$
培养前	1	1.0	6.85	6.81	3.43	2.07	39.7	1.36
	2		6.89	6.87	3.27	1.94	40.7	1.33
2.5 d 后	1	1.0	6.83	7.12	3.54	3.30	6.80	0.24
	2		6.88	7.25	3.46	3.16	8.70	0.30

注:小试装置为 80 L,填料取自处理池前段,生物膜厚约 0.04~1.50 mm.

3 结论与建议

(1) 中试研究表明,生物接触氧化法用于大型源水生物预处理工程完全可行.经过 3~4 周,处理池就能挂膜成功,顺利启动, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率达到 75% 以上, COD_{Mn} 的去除效率超过 20%.

(2) 生物处理池稳定运行时,采用穿孔管曝气方式、 t_{HR} 为50~70 min、气水比为1.00以上, NH_3-N 的去除率达75%以上, COD_{Mn} 平均去除率为15%~30%, BOD_5 的平均去除率为34.9%~47.6%;对藻类,Fe,SS,Mn等也有良好的去除效率.运行过程中,生物膜的状况良好,每克填料纤维上的两类细菌数量达 $10^6 \sim 10^7$ 个,膜上的动物种类繁多,呈规律性的分布.据此建成的特大型源水生物处理工程,稳定运行两年多,除污染效率良好.

(3) 实验表明,填料积泥过多不利于生物处理池的运行.试验提出了一种适合于大型源水生物处理工程的新型气水冲泥方法.苔藓虫和椎实螺在填料上的大量生长对源水生物处理装置的长期运行有一定影响,机械冲洗可作为苔藓虫的工程控制措施,静置水力冲洗法能有效控制椎实螺的数量.

参考文献:

- [1] Graveland A. Partical and microorganism removal in conventional and advanced treatment technology[J]. Water Sci Tech, 1998, 37(10):125-134.
- [2] 苏德隆. 饮水与肝癌[J]. 中华预防医学杂志, 1980, 14(2):65-73.
- [3] Lim Kyeong-ho, Shin Hang-sik. Operation and characteristics of aerated submerged biofilm reactors for drinking water treatment[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(12):101-109.
- [4] Yeh Hsuan-hsien, Kao Hsien-cheng. Testing coke biofilters for the pretreatment of polluted surface water in Taiwan[J]. J AWWA, 1993, 85(5):96-102.
- [5] 刘文君,王占生. 淮河(蚌埠段)饮用水源水生物接触氧化预处理生产性试验[J]. 环境科学, 1997, 18(1):20-22.
- [6] 许建华,高廷耀. Research and application on using elastic packing biological contact oxidation technology to pretreat light-polluted raw water[A]. Proceedings of the Second China-Japan Symposium on Water Environment[C]. Shanghai: Tongji Univeristy Press, 1998. 33-46.
- [7] 余金申. 受污染源水的生物预处理技术及工程实例[J]. 给水排水, 1996, 22(4):19-22.
- [8] 肖羽堂,许建华. 姚江饮用水源生化工艺除污染总结[J]. 中国给水排水, 1998, 14(2):8-10.
- [9] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [10] 刘双江. 水源水生物预处理反应器的微生物特征[J]. 城市环境与城市生态, 1994, 7(2):1-5.

·下期文章摘要预报·

混凝土材料断裂面信息的研究

严 安, 吴科如, 张 东, 姚 武

采用了激光三角法对混凝土断裂面的三维轮廓进行了测量,建立了投影覆盖法直接计算断裂面的分数维对断裂面特征进行表征,在此基础上研究了材料组成对断裂面分数维的影响.

内电解强化处理腈纶废水的试验研究

陆 斌, 韦鹤平

采用铁屑内电解工艺强化预处理腈纶化工废水,实验室及现场试验结果均表明,该工艺能改善废水的可生化性,可提高废水 COD_{Cr} 的去除率,该工艺与采用药剂混凝反应作预处理的生化工艺相比,废水 COD_{Cr} 去除率提高了30.4%,具有投资省、运行费用低和效果好等优点.