

# 前 言

中国环境科学学会环境工程学会于一九八四年十二月在北京召开了“全国首届生物膜法污水处理学术讨论会”。参加这次会议的有来自全国各地的科研、设计、高等院校、管理、生产等61个单位的86名代表。收到各类论文60余篇，内容涉及石油、化工、造纸、印染、含酚、含氰、含汞等12种废水。为了总结交流十几年来我国生物膜法废水处理技术的经验，推动生物膜技术在我国进一步推广运用，我们组织了由王世聪、朱宝珂、江慧玲、徐乃珩、潘南鹏等同志组成的，由潘南鹏任组长的论文选编组，对论文进行了选编。并由《环境工程》编辑部编辑出版，梁修忠同志任责任编辑。

在论文选编过程中，得到了论文作者、兄弟部门和有关同志的热情支持和协助，在此特致谢意。由于我们水平所限，编选工作一定会有不少缺点和错误，请批评指正。

环境工程学会

一九八六年一月

86.6463

8603459

## 目 录

### · 理论性综合性问题 ·

短暂时间内污水水膜流过生物膜表面时的净化研究·····	杨造燕 ( 1 )
生物接触氧化法动力学模型的探讨·····	胡纪萃 ( 7 )
生物膜法处理化工废水的研究·····	北京化工研究院 ( 11 )
生物膜法处理技术在水产养殖业中的应用·····	徐乃珩 ( 14 )
用数理统计方法检验生物转盘处理污水质量效果的探讨·····	宋柱原 ( 18 )
英国毛纺废水处理简介·····	瞿建增 ( 22 )
生物接触氧化法有关机理的探讨·····	邬扬善 沈光范 郑元景 ( 24 )
生物活性炭的机理及应用问题·····	陆雍森 ( 29 )
塔式生物滤池机理研究·····	邬扬善 徐乃珩 ( 35 )

### · 生物转盘 ·

生物转盘进展概况、特点及发展方向·····	王世聪 ( 40 )
氯丁橡胶污水生物处理试验·····	潘南鹏 邱慎初 ( 43 )
前置生物转盘反硝化脱氮·····	杨造燕 ( 49 )
用生物转盘—凝聚法处理染色废水·····	秦嘉禾 黄义光 ( 54 )
生物转盘法处理制胶减压脱水水·····	沈志勇 ( 58 )
生物转盘和生物接触氧化池调查报告·····	同济大学环境工程系 ( 62 )
使用大型生物转盘处理草浆中段废水·····	王启民 ( 72 )
生物转盘假单胞耐汞菌株处理含汞有机废水工业化的探讨·····	胡大理 ( 76 )
生物转盘处理有机毒物废水试验研究·····	黄昌武 ( 79 )
水净化机的研究·····	丁永良 ( 84 )
组装式塑料蜂窝生物转盘的研究·····	周庆贤 杜文默 ( 91 )
工业废水处理中生物转盘系统设计问题·····	王世聪 ( 98 )

### · 生物接触氧化法 ·

生物接触氧化法处理城市污水的中型试验研究·····	邬扬善 郑元景 ( 103 )
生物接触氧化—生物活性炭法系统处理印染废水的研究·····	黄长盾 ( 109 )
生物接触氧化法运转中问题讨论·····	戴庆玲 ( 115 )
接触氧化法处理针织漂染废水·····	许耀章 ( 118 )
一段二级接触氧化法处理含酚废水·····	林盛培 ( 123 )
生物接触氧化法处理印染废水应用的问题讨论·····	李培生 ( 131 )
生物接触氧化法不同填料的应用及讨论·····	荆一凤 ( 135 )
生物膜法好氧处理含黑素金废水及含黑素金与梯恩梯混合废水的研究 ·····	杨彦希 李文忠 尹萍 ( 139 )
炉渣填料生物接触氧化法处理城市污水生产性试验装置的运行·····	方志文 ( 143 )

软性填料接触氧化处理啤酒工业废水试验·····	王荣选 (147)
生物接触氧化法工程与运行·····	陈玉民 (153)
生物接触氧化法处理印染废水的若干问题·····	余淦申 (158)

· 塔式生物滤池 ·

塔式生物滤池处理北京焦化厂煤气终冷水的试验·····	谭皓莹 (162)
生物吸附—塔滤工艺处理针织印染废水·····	施 英 (167)
塔式生物滤池处理石油工业废水·····	蔡明初 (168)
塔式生物滤池在炼油污水处理中的应用·····	苏升坚 (176)
塔式生物滤池处理高炉含氰煤气洗涤水的研究·····	李 飞 (182)
冷却型塔式生物滤池处理合成氨造气含氰废水·····	卢 锟 (187)
塔式滤池处理腈纶废水的试验·····	徐乃珩 邬扬善 谭皓莹 (194)
塔式生物滤池和传统曝气法净化污水情况介绍·····	何子军 (199)
采用生物吸附曝气—塔式滤池新工艺处理印染废水的探讨·····	张怀贤 (200)
北京毛纺织厂染色废水处理·····	蒋晓红 (205)

· 其 他 ·

升流式厌氧污泥床—厌氧滤柱处理马铃薯加工废水·····	郭 静 (207)
生物膜法厌氧—好氧系统处理鱼品加工废水·····	华东师范大学 上海市政工程设计院 (212)
杀灭菊酯农药废水处理试验报告·····	朱挪威 管妙英 (215)
软性填料为处理医院污水开辟了新途径·····	张永清 叶善训 徐美琪 (221)
高温厌氧接触发酵法处理碱法化学机械浆造纸黑液试验报告 ·····	天津市轻工业设计院 黑龙江省带岭林业实验局 (224)
生物炭法处理印染废水·····	曹德身 陈秀华 (227)
三项生物流化床处理针织染色废水中间试验·····	蔡汉弟 孙玉修 (229)

# 短暂时间内污水水膜流过生物膜表面时的净化研究

天津大学 杨造燕

自哈特曼 (H. Hartmaun) 博士于五十年代中在西德首先使生产性生物转盘投入运转以来, 此种污水生物处理设备就迅速地在世界各地发展了起来(1), (2)。六十年代初著名的西德斯图加特大学培波教授 (F. POPEL), 利用该大学直径3米、2米和1米的设备进一步丰富了转盘处理污水方面的知识, 此后很多学者在这方面进行了研究。但至今尚未见到对转盘携带水膜的净化情况 (即此水膜水质成分和水量的变化的实际测定等) 的专门报导。

本文即针对此问题, 利用西德斯图加特大学直径3米的生物转盘生产性设备, 通过一定的方法直接测定分析了盘面在空气中若干点的水质水量变化, 测量的数据结果定量地证明了, 生物表面和其携带水膜在空气中短暂的停留, 不仅为微生物氧化污水迅速吸收了必要的氧, 而且此水膜迅速地得到了净化。本文主要阐述水质变化, 即水膜水质净化情况。关于水膜水量变化及水膜在转盘系统中的作用等问题未包括在内。

## 一、试验设备及取样

图1为三级转盘系统的布置和在空气中的盘面上各取样点分配的情况。该转盘转速约为1转/分(10米/分)和0.5转/分(5米/分)二档, 浸水面积约为30%。

从图1可知, 各级两端的盘, 即第一级A和B, 第二级C和D盘, 第三级E和F盘能按所布置的取样点取样, 又因第一级和第三级是重点研究的两级, 因此B盘和F盘为重点

取样盘, 第二级的D盘取样次数亦有一定数量, 以便和第一, 第三级比较。

本试验自1982年7月21日到1982年9月30日连续进行了两个多月。

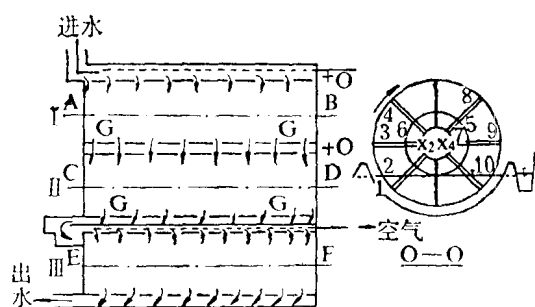


图1 三级转盘布置和取样点分布

## 二、试验结果

### 1. COD和BOD<sub>5</sub>去除情况

由表1、2的统计结果看出, 第一级槽水的BOD<sub>5</sub>去除率平均为62.6%, 但第一级膜水BOD<sub>5</sub>去除率平均达到85.5%, 即提高了大约23%。如果只与第一级槽水比较, 则膜水从槽水中去除了约6.2%的BOD<sub>5</sub>。作为主要化验

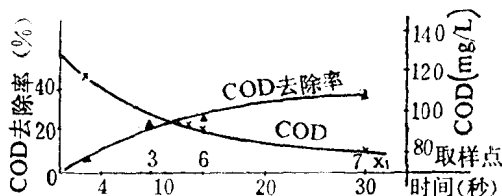


图2 第一级膜水的COD值及其去除率与其在空气中停留时间的关系

项目的COD, 第一级槽水中去除率为54.7%, 膜水为71.2%, 从第一级槽水中去除36.5%。

图2表示了第一级膜水离开水槽后随着

表 1 第一级 B 盘膜水主要分析项目  
统计结果 (温度: 17~21℃)

取 样 点	化 验 项 目	统计结果			
		COD (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	pH	溶解氧 (mg/l)
进 水	最 大	452.2	241	7.95	1.0
	最 小	145.1	133	7.38	0
	平 均	279.1	181.4	7.68	0.58
	统计次数	27	7	23	5
1 污 水 t=0秒	最 大	218.5	85.8	7.91	2.8
	最 小	72.9	45.8	7.30	0.5
	平 均	126.5	67.7	7.64	1.4
	统计次数	28	3	24	7
3 t=6-12秒	最 大	162.8		8.15	5.1
	最 小	67.3		7.69	3.3
	平 均	95.46		7.87	4.1
	统计次数	9		5	6
4 t=10-15	最 大	160.2		8.17	
	最 小	55.6		7.70	
	平 均	94.76		7.91	
	统计次数	8		5	
6, X <sub>2</sub> t=10-18秒	最 大	114.8		8.10	
	最 小	66.3		7.84	
	平 均	92.83		7.88	
	统计次数	6		5	
5, 7, 8, X <sub>1</sub> t=20-33秒	最 大	111.6	34.5	8.10	5.5
	最 小	39.0	18.4	7.80	4.4
	平 均	80.55	26.3	7.91	5.0
	统计次数	24	4	24	5

在空气中停留时间的增长, COD 值的减少及其去除率增长的情况, 它们之间成线性关系。

## 2. 溶解氧和 pH 值变化情况

• 2 •

从表1还可看出空气中氧极为迅速地溶于水膜, 大约10秒即从槽水的1.4毫克/升提高到4.1毫克/升, 膜水pH也随着在空气中停留时间的延长而提高, 这可解释为生物氧化含碳有机物所产生的CO<sub>2</sub>, 经巨大的水膜流动表面和空气的接触, 即通过所谓的吹脱作用迅速地转入空气中, 使水中由于CO<sub>2</sub>的减少导致pH值有所提高。此两者关系在对数坐标纸上近似地成直线关系。

## 3. 氨氮的去除和硝化情况

表 2 表示氨氮去除情况和硝酸盐氮与亚硝酸盐氮的比率随膜水在空气中停留时间延长而变化的情况。在第三级中, 槽水的氨氮平均值为8.65毫克/升, 去除率达73%。而在同级膜水中, 氨氮去除率已达90%, 此时相应的停留时间约为30秒, 其平均值为3.18毫克/升。虽然此阶段BOD<sub>5</sub>负荷在7~14克/米<sup>2</sup>·天之间变化, 其中若干次化验结果, 氨氮值甚至为零。

图3和4表示了第三级槽水和膜水的氨氮去除率、NO<sub>x</sub>/N百分数与进水 BOD<sub>5</sub> 和COD 负荷的关系, 可看出膜水在此负荷范围内, 硝化几乎不受影响, 尽管槽水已明显的随负荷增高而硝化率有所下降。

图5和6给出了三级槽水和膜水的氨氮去除率、NO<sub>x</sub>/N百分数与进水氨氮负荷和氨氮浓度的关系。在现有的 BOD<sub>5</sub> 负荷 7~14 克/米<sup>2</sup>·天, 三级系统总停留时间2.2小时, 如果氨氮负荷和进水氨氮值分别小于 1.5 克/米<sup>2</sup>·天和30毫克/升时, 这两者的氨氮去除率、NO<sub>x</sub>/N百分数几乎均不受或只受进水此两周素的很小影响。膜水和槽水此阶段就象两件平行线且均无显著变化。但当氨氮负荷大于1.8克/米<sup>2</sup>·天和进水氨氮大于 37 毫克/升时, 则他们都明显发生变化, 但膜水变化看来略比槽水小些。

图7和8表示了出水BOD<sub>5</sub>和COD值对出水(即三级槽水)和膜水氨氮去除率以及氨氮值的影响, 虽然取得的数据较少, 但关系

表 2 各级槽水和膜水各有关分析项目统计结果 (BOD<sub>5</sub>负荷: 7~14g/m<sup>2</sup>·d)

取 样 点	化 验 项 目 统 计 结 果	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	NO <sub>2</sub> -N/ NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	总 N (mg/l)	COD (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	pH	溶 解 氧 (mg/l)
进 水	最 大	39.2	0.5/0.48	55.9	452.2	241	7.95	1.0
	最 小	22.9	0/0	38.1	145.1	133	7.38	0
	平 均	32.60	0.1/0.13	47.66	279.1	181.4	7.68	0.58
	统 计 次 数	15	5	14	27	7	23	5
第 一 级 槽 水	最 大	25.5	1.0/0.35	35.0	218.5	85.7	7.91	2.8
	最 小	16.2	0.8/0.32	24.3	72.9	45.8	7.30	0.5
	平 均	20.9	0.90/0.32	29.65	126.5	67.7	7.64	1.4
	统 计 次 数	2	2	2	28	3	24	7
第 一 级 点 膜 水 t=约30秒	最 大	26.0	2.0/0.39	33.1	111.6	34.5	8.10	5.5
	最 小	13.3	0.5/0.14	19.4	39.0	18.4	7.88	4.4
	平 均	18.3	1.17/0.29	26.25	80.55	26.3	7.98	5.0
	统 计 次 数	4	4	2	24	4	13	5
第 二 级 槽 水	最 大	27.6	8.4/0.58	30.5	108.7	46.1	7.80	3.8
	最 小	15.4	0.95/0.4	26.0	46.1	18.1	7.30	1.4
	平 均	20.3	4.8/0.48	28.4	83.76	31.8	7.55	2.4
	统 计 次 数	6	6	6	5	4	9	4
第 二 级 中 心 区 膜 水 t=约30秒	最 大	20.6	11.1/0.75	29.8	90.7		8.15	6.0
	最 小	8.3	2.6/0	24.6	34.8		7.50	4.5
	平 均	15.9	7.6/0.53	28.2	66.96	18.7	7.80	5.15
	统 计 次 数	5	7	6	5	1	9	4
第 三 级 槽 水	最 大	15.2	14.1/1.75	33.9	66.6	34.4	7.70	3.8
	最 小	2.6	7.4/0.36	16.0	43.1	10.1	7.29	2.6
	平 均	8.65	10.86/0.71	25.05	50.27	18.7	7.49	3.1
	统 计 次 数	16	15	17	6	5	14	3
第 三 级 中 心 区 膜 水 t=约30秒	最 大	9.1	18.7/1.0	34.8	55.1		7.94	
	最 小	0	10.7/0.22	14.2	40.1		7.61	
	平 均	3.18	15.61/0.56	25.11	44.08		7.77	5.6
	统 计 次 数	16	15	16	6		14	

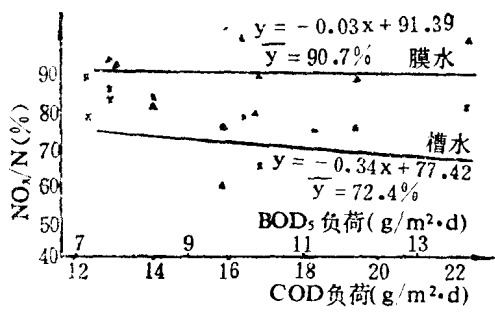


图 3 氨氮去除率与BOD<sub>5</sub>和COD负荷的关系

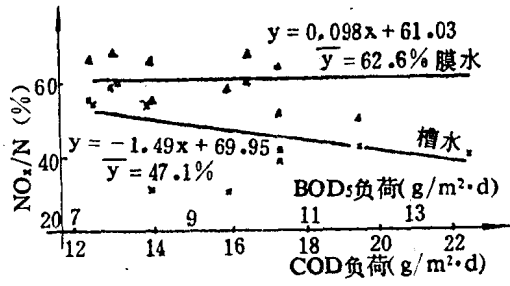


图 4 NO<sub>x</sub>/N与BOD<sub>5</sub>和COD负荷的关系

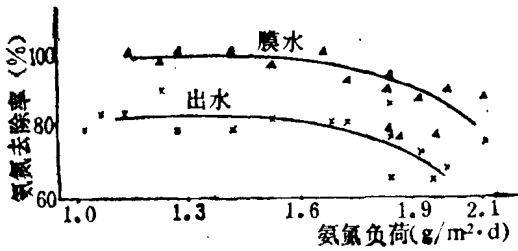


图 5 氨氮负荷对三级出水和膜水氨氮去除率的影响

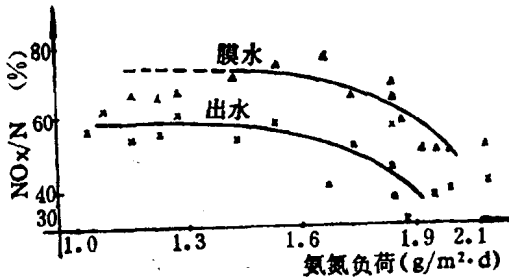


图 6 NH<sub>4</sub> 负荷对三级出水和膜水 NO<sub>x</sub>/N% 的影响

还是清楚的。三级膜水的 BOD<sub>5</sub> 和 COD 也总是小于同级槽水(参看表 2), 所以膜水受进水有机物的影响小于槽水, 也就是说膜水中低的有机物浓度和充足的氧, 使得自营型的硝酸盐和亚硝酸盐菌能迅速的进行硝化作用, 因此随有机负荷的增加, 氨氮去除率下降的情况要比槽水来得慢, 当然氨氮也就上升得慢。

#### 4. 生物膜的形状和构造对其表面流动水 COD 的影响。

表 3 和表 4 给出了自然形成的第一级的无毛状膜的 A 盘和有毛状的 B 盘的 COD 比较数据, 以及 B 盘本身不同时期形成的不同形状

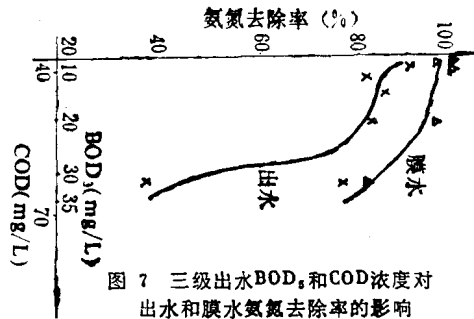


图 7 三级出水 BOD<sub>5</sub> 和 COD 浓度对出水和膜水氨氮去除率的影响

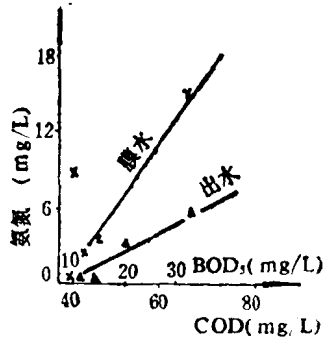


图 8 三级出水 BOD<sub>5</sub> 和 COD 浓度对出水和膜水氨氮值的影响

的生物膜时的比较。从中可知, 毛状膜的 COD 去除率大约比凹凸不平但无毛状的膜要高出 5~10%, 表 4 中毛状时进水 COD 比无毛状时低, 所以实际去除率有可能还高。

#### 5. 转速对生物膜携带水膜 COD 的影响

表 5 指出, 在 B 盘其他条件相同时, 0.5 转/分时, 相应点的停留时间大于或等于 40 秒所携带的膜水 COD 的去除率比 1 转/分时相应点停留时间小于或等于 20 秒要高 20%, 这

表 3 具有不同生物膜状况的 A 盘和 B 盘膜水 COD 去除情况的比较

盘 名	A 盘, 无明显毛丝膜					B 盘, 有明显毛丝膜				
	进水 (mg/l)	223	244.2	255.9	215.8	227.1	240.1	215.8	330	274
槽水 (mg/l)	153.5	135.2	150.9	81.2	119.2	135.4	80.1	146.4	119.2	156.0
膜水 (mg/l)	135	91.9	107.5	62.8	74.8	82.9	39	111.6	68	126.4
去除百分数 (%)	12.1	32.0	28.8	22.7	37.2	38.8	51.3	23.8	43.0	20.0
进水平均值 (mg/l)	235.2					213.6				
槽水平均值 (mg/l)	128					127.42				
各次去除率平均 (%)	25.56					35.4				
取 样 日 期	1982.8.12	8.18	8.19	8.24	8.25	8.14	8.24	8.16	8.26	9.10

表 4

B 盘在不同时期其本身生物状况变化时 COD 去除情况

生物膜状况	有明显毛丝膜, 1982.9.15以前					无明显毛丝膜, 9.15以后				
	取样日期	1982 8.14	8.16	9.9	8.26	8.31	1982 9.15	9.17	9.23	9.29
进水 (mg/l)	240.1	330	311.5	274	421.6	156.8	452.2	323.9	261.5	425.8
槽水 (mg/l)	135.4	146.4	115.4	119.2	129.0	139.0	157.4	167.1	135.6	103
膜水 (mg/l)	82.9	111.6	89.7	68.0	65.3	107.9	84.2	86.1	100.9	93.7
去除百分数 (%)	38.8	23.8	22.3	43.0	49.4	22.3	46.5	48.5	25.6	9.0
进水平均值 (mg/l)	315.44					324.04				
槽水平均值 (mg/l)	129.1					140.4				
各次去除率平均 (%)	35.5					30.4				

5表

B 盘膜水在不同转速时的 COD 变化情况

转 速	10m/分 (约 1 转/分)			5.0m/分 (约 0.5 转/分)		
	进水 (mg/l)	330	216.5	255.9	308.1	156.8
槽水 (mg/l)	146.4	135.6	150.9	156	139	157.4
样点 4 和 6, t 约 15 秒	114.4	107.9		126.4	107.9	135.7 t 约 30 秒
取样点 7, t=20—30 秒	111.6	93.9	107.5	96	50.3	84.2 t ≥ 40 秒
4 和 6 点去除率 (%)	21.8	20.4		18.9	22.4	13.8
7 点去除率 (%)	23.8	30.7	28.8	38.5	63.8	46.5
4 和 6 点平均去除率 (%)	21.1			20.7		
7 点平均去除率 (%)	27.8			49.6		
取样日期	1982.8.16	9.29	8.19	1982.9.10	9.15	9.17

主要是因为膜水量慢转时变少和盘在空气中的停留时间变长, 膜水停留时间也自然变长引起的。

本试验水温在 15.5~21℃ 范围内, 在现负荷情况下, 此水温尚未看出对膜水有机物的去除和硝化作用有显著的影响。

### 三. 讨 论

早在 1912 年德国董巴教授 (W.P. Dunbar) 就曾谈到并用试验证实, 槽水在 12 秒内就可以被微生物处理, 创造了生物吸附理论<sup>(1), (4)</sup>。1962 年美国麦克尼教授 (R. E. Mckinney)<sup>(5)</sup>提出了“只有通过这种途径, 即合成新的原生质, 微生物才能连续从污水中去除有机物, 存在着吸附大量有机物于细胞表面上的可能, 但是除非这种被吸

附的有机物被同化进入原生质, 否则吸附的速度将趋近于零。”德国《槽水工程教学和技术手册》<sup>(6)</sup>第二卷中描述这一过程时指出, “有机物首先通过外酶水解并分解成氨基酸、脂肪酸和甘油 (丙三醇) 以及单糖酸等, 这些基本单元分别通过扩散 (由于紊流作用) 而达到细胞表面, 并且当这种接触发生在适宜的地点时, 则迅速地产生化学和物理的结合, 这种化学物理结合体直接进入酶转输体而进入细胞内部。这些物质到达细胞内部则被送入到一个复杂的酶反应结合网中, 此酶反应链将这些物质根据不同需要而进行转化, 如通过氧化而转成所需之能, 或合成微生物本身的机体。德国哈白克—特劳波夫克教授 (H. Habeck—Tropfke)<sup>(7)</sup>在他所著“污水微生物学”一书中指出, “生



物膜的物质转化,并使污水中有机物的最后分解毕竟是很强烈的”并且生物膜携带水膜中“氧通过渗透的途径达到盘上的生物膜中,以致使异化过程可以顺利地进行。”

从上述各学者的观点,特别是后来的一些学者,可知污水中有机物通过不同的作用直接地、连续地,并且在条件适宜时可迅速地通过酶进入细胞内部。因此如果只以一般的吸附原理来解释这种膜水短时间内即被净化的现象,看来是不充分的。试验过程中膜水始终保持着比槽水低的COD浓度。当然吸附或说在细胞表面物理化学结合是一个重要的步骤,即从水中转到细胞表面使水变净,但只此步骤没有微生物对这些细胞表面的有机物进一步的合成和分解即同化和异化,那细胞表面就会不断地增加有机物,随着有机物的增加,吸附速度就会下降,当表面被有机物盖满时,也就是所谓的吸附饱和,则会出现如麦克尼所指出的“吸附速度将趋近于零。”因此以本试验几十秒的时间内污水膜即可连续不断地被净化来看,这种“直接进入细胞内”和在细胞内“强烈地转化”即合成和分解是和“表面吸附或化学物理结合”同时存在的,且其速度也是相当快的,起码在现在试验的浓度下没有出现明显的吸附饱和现象。

同样如果只用吸附解释,也很难说明第三级水膜的硝化作用始终要比同级槽水好得多,自营硝化菌把氨氮转化成亚硝酸氮和硝酸盐氮完全是它本身新陈代谢的过程,此试验证明这过程也是相当迅速的,尽管自营微生物增殖得较慢。

此外,分析一下流动水膜的状况不难看出,它不仅具有生物膜和污水的最好的接触条件,而且也具备了为氧微生物进行新陈代谢的极有力的条件。所以污水可在如此短的时间内得以净化。这些条件可归纳如下:

1. 流动水膜可始终保持相当高的溶解氧,巨大的水膜和空气的接触面积,薄的水层,紊流的状况,致使空气中氧迅速溶入水膜,而及

时地满足好氧微生物新陈代谢的需要。

2. 极小的流动水膜量对比于其覆盖下的众多生物膜量,这使得膜水中污染物迅速地被“分光”导致膜水迅速得到净化。

3. 极好的紊流条件。在凹凸不平 and 毛状的膜表面上向前向下漫流着的薄水膜,使生物膜和水膜产生了极好的接触。毛丝的摆动更加强了这种接触。

4. 如此巨大的生物膜表面积,特别是毛状膜时,大大加速了物质的传质转化过程。

5. 如此大的水膜表面和薄的水层,即加强了吸氧过程也促进了所谓的吹脱过程,这就使得矿化过程所产生的CO<sub>2</sub>(微生物新陈代谢产物之一),迅速被吹入空气,使代谢产物不至于积累,无疑对微生物新陈代谢是很有益的。

#### 四 小 结

本试验主要得出下列几点:

1. 生物膜表面流动水在空气中停留20~30秒的短暂时间内,其有机污染物就可得到相当程度地处理,从其相应的槽水中分别使BOD<sub>5</sub>减少62%, COD减少37%。

2. 在第三级硝化转盘时,在同样短的空气逗留时间内,膜水的氨氮含量也比槽水减少63%。氧化态氮占总氮比例达62%,比相应槽水高出16%左右。

3. 膜水溶解氧几秒到十几秒即可比槽水高出3~4倍,在第一级槽水为1.4毫克/升时,膜水可达到5毫克/升以上。

4. 同样在几秒到十几秒时间内,膜水pH由于CO<sub>2</sub>被迅速吹脱而有所提高(从7.6提高到8左右)。

5. 生物膜表面的形状和构造以及转速对膜水的有机物去除情况和其携带的膜水量都有影响。毛丝状膜去除的COD大约比一般无毛的凹凸不平膜多5%~10%。转速减少一倍(从1转/分到0.5转分,相应点的停留时间从20秒增到40秒时),膜水去除COD大约高出20%。

# 生物接触氧化法动力学模型的探讨

清华大学环境工程系 胡纪芊

生物接触氧化法又称为接触曝气法，是一种高效能、低能耗的废水生物处理方法。在我国已有不少的工业废水采用了接触氧化法进行处理。实践证明，接触氧化法具有去除有机物效能高、占地面积省、污泥产量少、无需污泥回流、不发生污泥膨胀、耐冲击负荷能力强和能耗低等一系列优点。因而受到人们的重视。但是，目前国内外对接触氧化法的处理机理的研究还很不够，一般均满足于采用经验数据或经验公式进行设计。有很大的局限性。本文将运用微生物过程反应动力学和化学反应器的理论着重对接触氧化法处理废水的过程进行探讨，以求得接触氧化法动力学模型。

## 一、接触氧化法动力学模型

1942年，Monod把酶促反应的米-门

(Michaelis-Menten) 关系式应用到微生物生长上，提出了类似于米-门关系式的公式来描述基质浓度与微生物比增长速率之间的关系。下列即为Monod关系式：

$$\mu = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S} \quad (1)$$

式中， $\mu$ ——微生物比增长速率（1/时间），即单位生物量的增长速率  $\frac{dX}{dt}$ ， $x$  为微生物浓度

$\mu_{max}$ ——在饱和浓度中微生物最大比增长速率；

$K_s$ ——饱和常数，其值为  $\mu = \frac{\mu_{max}}{2}$

时的基质浓度；

$S$ ——基质浓度。

Monod关系是由纯菌种在单一基质培养试验中得到的，后来被广泛地引入废水生物处理领域。试验证明，废水处理中，一般情况下，有机物浓度与微生物比增长速率之间的关系，也基本符合这种关系，我们的试验结果也表明，接触氧化法也符合 Monod 关系。

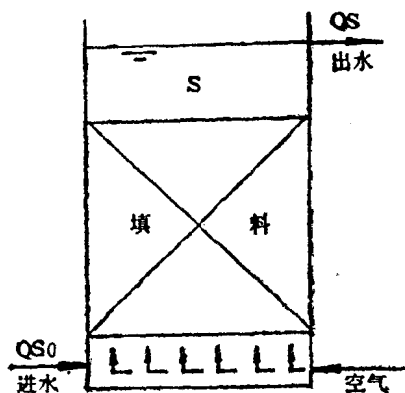


图1 接触氧化池原理

许多试验证明接触氧化池的流态为一完全混合型。因此可以认为整个池中各点的废水浓度是相同的，出水浓度等于池中浓度。附着在填料表面的生物膜也是均匀分布的。图1所示的接触氧化池相当于是一个连续流完全混合反应器。根据化学反应动力学理论，接触氧化池的物料平衡关系可用下面的数学表达描述：

$$\left(\frac{ds}{dt}\right)V = QS_0 - \left[\left(\frac{ds}{dt}\right)_{u_A} V_A + \left(\frac{ds}{dt}\right)_{u_s} V_s + QS\right] \quad (2)$$

式中 $(\frac{ds}{dt})_{A\theta}$ —单位容积氧化池的基质变化速率, (质量/容积时间);

$(\frac{ds}{dt})_{vA}$ —单位容积附着的生物膜利用基质的速率;

$(\frac{ds}{dt})_{vs}$ —单位容积悬浮的生物体利用基质的速率;

$V$ —氧化池容积;

$V_A$ —附着的生物膜容积;

$V_s$ —氧化池液体容积;

$S_0$ —进水基质浓度;

$S$ —出水基质浓度。

如果忽略维持所需的能量, 即略去内源衰减, 微生物增长与基质利用有如下关系:

$$(\frac{dx}{ds})_{A\theta} = Y_A (\frac{ds}{dt})_{vA} \quad (3)$$

和

$$(\frac{dx}{dt})_{s\theta} = Y_s (\frac{ds}{dt})_{vs} \quad (4)$$

式中,  $(\frac{dx}{dt})_{A\theta}$ —附着生物膜的绝对生长速率;

$Y_A$ —附着生物膜的理论产率系数;

$(\frac{dx}{dt})_{s\theta}$ —悬浮生物体的绝对生长速率;

率;

$Y_s$ —悬浮生物体的理论产率系数;

式(3)和式(4)可写成

$$\frac{(\frac{dx}{dt})_{A\theta}}{Y_A} = (\frac{ds}{dt})_{vA} \quad (5)$$

$$\frac{(\frac{dx}{dt})_{s\theta}}{Y_s} = (\frac{ds}{dt})_{vs} \quad (6)$$

式(5)和式(6)等号左边分别乘以 $X_A/X_A$ 和 $X_s/X_s$ 得到

$$\frac{(\frac{dx}{dt})_{A\theta} X_A}{Y_A} = \frac{\mu_A X_A}{Y_A} = (\frac{ds}{dt})_{vA} \quad (7)$$

和

$$\frac{(\frac{dx}{dt})_{s\theta} X_s}{Y_s} = \frac{\mu_s X_s}{Y_s} = (\frac{ds}{dt})_{vs} \quad (8)$$

式中,  $X_A$ —附着生长单位容积的活性生物量;

$X_s$ —悬浮生长单位容积的活性生物量

$\mu_A$ —附着生物膜的比增长速率,

$\mu_s$ —悬浮生物体的比增长速率。

把式(7)和式(8)代入式(2)后可得到

$$(\frac{ds}{dt})V = QS_0 - QS -$$

$$\frac{\mu_A X_A}{Y_A} V_A - \frac{\mu_s X_s}{Y_s} V \quad (9)$$

设填料的比表面积为 $a$  [ $m^2/m^3$  (填料)], 活性生物膜的平均厚度为 $d$ , 则附着在填料表面上生物膜的总容积为

$$V_A = Nad \quad (10)$$

式中,  $N$ —接触氧化池内填料的容积 $m^3$ 数。

在稳态的条件下, 即进水出水水质水量维持不变, 其它环境条件不变时, 式(9)可写成

$$0 = QS_0 - QS - \frac{\mu_A X_A}{Y_A} Nad -$$

$$\frac{\mu_s X_s}{Y_s} V \quad (11)$$

如前所述, 微生物的比增长速率符合Monod关系式(1), 则上式可写为

$$Q(S_0 - S) = \frac{(\mu_{max})_A X_A}{Y_A} \cdot Nad \cdot$$

$$\frac{S}{K_s + S} - \frac{(\mu_{max})_s X_s}{Y_s} \cdot V \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (12)$$

一般情况下, 接触氧化池中去除基质主

要是通过附着的生物膜,附着的生物膜,不仅数量多,而且活性高,去除基质的能力强。悬浮的生物体是一些老化脱落的生物膜,不仅数量相对地较少,而且活性也比附着膜差,去除基质的量与附着生物膜相比可以略去不计。因此式(12)可以写成

$$Q(S_0 - S) = \frac{(\mu_{max})_A X_A d}{Y_A} \cdot Nad \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (13)$$

当进水基质负荷率达到一定值以后,在溶解氧维持一定值,以及其它的环境条件如水温、pH等因素均保持不变时,附着在填料上生长的生物膜的平均厚度可认为是不变的。因此,附着在单位填料表面积上的活性生物量是一定的。

式(13)中

$$\frac{(\mu_{max})_A X_A d}{Y_A} = \left( \left( \frac{ds}{dt} \right)_{uA} \right)_{max} \quad (14)$$

式中,  $\left( \left( \frac{ds}{dt} \right)_{uA} \right)_{max}$  ——单位容积附着

生物膜最大利用基质速率

式(14)等号二边乘上 $V_A = Nad$ ,即为氧化池附着生物膜总的最大利用基质的速率,可用下式表示

$$\frac{(\mu_{max})_A X_A d}{Y_A} \cdot Nad = \left( \left( \frac{ds}{dt} \right)_{uA} \right)_{max} \cdot Nad \quad (15)$$

式(15)等号二边除以填料总的表面积 $N_a$ 则得到单位填料表面积上附着的生物膜最大利用基质速率

$$\frac{(\mu_{max})_A X_A d}{Y_A} \cdot d = \left( \left( \frac{ds}{dt} \right)_{uA} \right)_{max} \cdot d \quad (16)$$

由于基质利用速率在数值上等于基质去除速率。 $U_{max}$ 代表单位填料表面积上附着生物膜最大去除基质的速率,则式(16)可用下式表示

$$U_{max} = \frac{(\mu_{max})_A X_A d}{Y_A} \quad (17)$$

则式(13)可写成

$$\frac{Q(S_0 - S)}{N_a} = \frac{U_{max} S}{K_s + S} \quad (18)$$

上式左边的物理意义是很明确的,即是单位填料面积基质去除速率,也就是单位填料面积的基质去除负荷率。

$$\text{令 } U = \frac{Q(S_0 - S)}{N_a} \quad (19)$$

把式(19)代入式(18)可得到

$$U = \frac{U_{max} S}{K_s + S} \quad (20)$$

式中,  $U$ ——单位填料面积基质去除速率;

$U_{max}$ ——饱和基质浓度时单位填料面积最大基质去除速率;

$K_s$ ——饱和常数,其值为 $U = \frac{1}{2} U_{max}$

时的基质浓度;

$S$ ——氧化池内的或出水的基质浓度。

公式(20)是接触氧化法的动力学数学模型,它反映了接触氧化池单位填料面积基质去除速率与基质浓度之间的动力学关系。该式的形式与米-门关系式和Monod关系式是相似的。式中的 $U_{max}$ 与 $K_s$ 为接触氧化池基质降解的动力学常数。

## 二、接触氧化法动力学常数的测定

接触氧化法基质降解动力学常数 $U_{max}$ 和 $K_s$ 可以通过试验确定,动力学常数大小与基质的性质、微生物种群、填料的种类和环境条件有关,对于某种基质和填料,在一定的环境条件下,可求得相应的动力学常数。

本文的试验装置如图2所示。氧化池的内径为100mm,填料高为3.1m,填料为纸蜂窝,孔径为19mm。试验水样为人工配制。

以葡萄糖作为碳源，并投加适量的氮、磷和铁，其比值为  $BOD_5:N:P:Fe=100:5:1:0.1$ ，以满足微生物的营养要求，试验环境温度为  $20^{\circ}C$  左右。

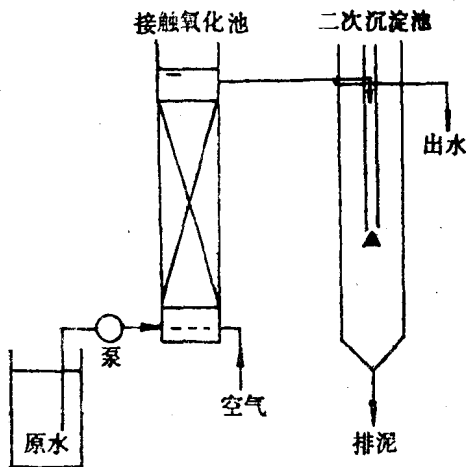


图2 试验装置流程

根据接触氧化池的几何尺寸和填料的孔径，氧化池中填料的容积为  $0.024m^3$ ，填料的比表面为  $210.5m^2/m^3$ ，所以填料总的表面积为  $5.05m^2$ ，试验的平均结果列于表1中，为了求得动力学常数，试验数据整理于表2中。

表1 试验结果平均值

编号	进水量 $Q$ ( $m^3/d$ )	进水基质浓度 $S_0$ (COD) (mg/L)	出水基质浓度 $S$ (COD) (mg/L)
1	2.3	63.7	19.2
2	3.3	68.6	26.7
3	3.3	80.7	27.1
4	3.3	129.2	43.4
5	3.3	154.1	49.6

(上接90页) 一般盘片增加一倍，电耗只增加37.5%，为降低电耗，今后宜向轴向发展，即增加盘片数量，南海水产研究所对虾养殖水处理装置决定试用。为了进一步节约能源，应向水动、气动发展，如美国正在大力发展气动生物转盘。

### 七、结语

水净化机是一种机械与生物结合的新颖

表2 试验数据整理

$Q(S_0-S)$ (g/d)	填料面积 $N_a$ ( $m^2$ )	$U$ ( $g/m^2 \cdot d$ )	$\frac{1}{U}$ ( $m^2 \cdot d/g$ )	$\frac{1}{S-S_n^*}$ (L/mg)
102.35	5.05	20.27	0.049	0.083
138.27	5.05	27.38	0.037	0.051
176.88	5.05	35.05	0.027	0.050
283.14	5.05	56.06	0.018	0.028
344.85	5.05	68.29	0.015	0.024

\* $S_n$ 是不可生物降解的有机物，由试验求得，本试验基质的 $S_n$ 为  $7.2mg/L$ 。

利用式(20)，等号两边取倒数，以

$\frac{1}{U}$ 为纵坐标， $\frac{1}{S-S_n}$ 为横坐标。根据表1

和表2中的数据进行线性回归或采用图解法，可求得 $U_{max}$ 和 $K_s$ 。线性回归和图解结果， $U_{max}=500g/m^2 \cdot d$ 或  $0.5kg/m^2 \cdot d$ ， $K_s=290mg/L$ ，相关系数 $r=0.977$ 。如图3所示。

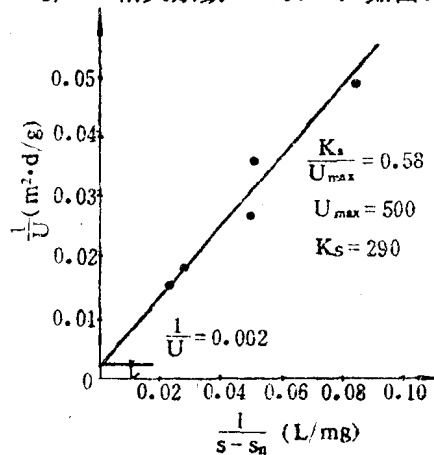


图3 图解法求 $U_{max}$ 和 $K_s$

通过试验确定动力学常数后，就可按式(20)进行废水处理的设计计算。

的养鱼设备，目前国外尚处于发展阶段。我国已初见成效，在技术发展的现阶段，它将有助于促使高密度机械化养鱼在技术上和经济上有新的突破。在这一技术领域今后还有大量工作要做，希能与生物、生化科技工作者紧密配合进一步向深度与广度研究，为发展养殖业，节约土地，节约投资，节约饲料，节约能源，节约用水，提高商品率作出贡献。

# 生物膜法处理化工废水的研究

北京化工研究院

## 一、生物膜法用于处理易发生污泥膨胀的废水

近几年,我们先后对环氧氯丙烷废水与环氧乙烷废水进行了生化处理试验研究。以上废水中的有机物以丙三醇、乙二醇为主,它们即容易生化处理,又容易引起污泥膨胀。

采用传统曝气法处理环氧乙烷废水时,不到一个月时间,丝状菌大量繁殖,污泥沉降比由13%增至54%,污泥指数由56增至204,镜检发现菌胶团中夹杂有大量丝状体。由于污泥大量流失,曝气池内的污泥浓度急剧下降,只有0.5g/L,试验无法继续进行下去。尽管采取了控制污泥负荷,添加不同的氮源,改变进水pH值,加大排泥量,闷曝等各种措施,均未有效控制住污泥膨胀。后来采用生物接触氧化法,废水依靠附着在蜂窝填料上的生物膜进行处理,不在发生污泥膨胀和污泥流失的问题。曝气池内的生物量得到保证,实验室研究与中间试验均得到较好的试验结果,如图1和图2所示。

通过小试与中试,明显地看出,环氧乙烷废水用接触氧化法能够解决污泥膨胀问题,运转稳定,容易控制,因此在工业装置上(处理量140米<sup>3</sup>/小时)也采用了这种型式,并取得了较好的处理效果。

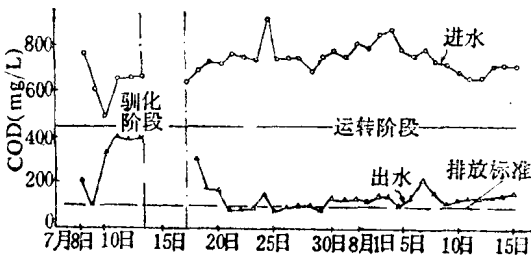


图1 接触氧化法处理环氧乙烷废水去除COD曲线

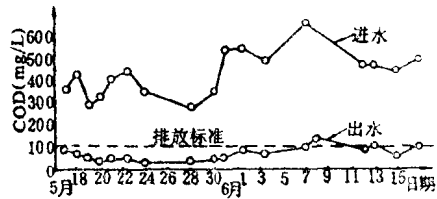


图2 接触氧化法处理环氧乙烷废水去除COD曲线(中试)

## 二、生物膜法用于高温生化处理

废水高温生化处理研究,主要是解决一些高温排放废水(50℃~60℃)不经凉水塔或其它冷却设备降温,直接进行生化处理的问题。目的在于简化预处理流程,节省建设投资与运行费用。

高温废水生化处理关键问题之一是污泥沉降性能变差,Streebin在试验中发现,当温度超过40℃,污泥不能沉降,COD去除率开始下降。Dougherty用柠檬酸污水进行实验室研究发现,温度迅速变化会引起暂时污泥膨胀和使出水水质变坏。内田信一郎曾对城市污水进行了试验,据报导,随着温度升高(由20℃到40℃),活性污泥发生微细化解体现象,破坏了污泥的凝聚作用。

我们在进行炼油废水高温生化处理试验时,在传统曝气装置中出现了同样的情况。当温度升到40℃时,活性污泥沉降性能明显变坏。沉淀池出水悬浮物由35℃的10mg/L急剧升高到40℃的400mg/L。由于污泥沉降不下来,污泥大量随污水流失,所以曝气池内的污泥浓度急剧下降到0.9g/L。为了解决这一问题,我们采用接触氧化法,在另一套同样大小的曝气池内放上蜂窝填料,经驯化挂膜后在40℃~60℃条件下长时间运行,取

得良好结果，实验结果见表1。

由此可见，采用接触氧化法，由于生物膜附着在填料上，所以不存在污泥沉降性能

和污泥迴流的问题。解决了高温废水生化处理中的一个难题。

表 1 温度对炼油废水接触氧化法处理的影响

试验温度 (°C)	体积负荷 (KgBOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> ·d)	水力停留时间 (t)	COD (mg/L)			BOD <sub>5</sub> (mg/L)			油		硫 (mg/L)	酚		出水悬浮物 (mg/L)
			进 水	出 水	去 除 率 (%)	进 水	出 水	去 除 率 (%)	进 水	出 水		进 水	出 水	
40	1.15	2.9	298	52	83	153	4.6	97			未检出	1.2	0.06	0.4
45	1.12	3.3	290	44	85	100	3.1	97	12.2	2.5	未检出	0.8	0.04	3.0
50	1.13	3.1	277	65	77	154	3.1	98	8.2	5.5	未检出	0.3	0.03	5.8
55	1.04	2.8	253	68	73	136	4.2	97	10.0	1.9	未检出	0.1	0.03	4.6
60	0.90	3.2	245	71	71	137	11.7	92	8.0	2.1	未检出	0.4	0.04	4.6

注：1、表中体积负荷、COD、BOD<sub>5</sub>均为平均值。2、在每一温度范围内连续运行10天—21天。

### 三、生物膜法的组合应用—生物流化床与接触氧化法两段串联生化处理

用生物流化床和接触氧化法两种生物膜法处理废水，都具有负荷高、反应时间短等优点，但是也存在相应的问题。生物流化床由于负荷高，停留时间太短，对于化工废水

中一些较难降解的有机物去除率较低。接触氧化法如负荷过高，污泥增长速度很快，填料很容易堵塞。因此，生物膜法应用在高负荷条件下，怎样使COD去除率即能达到较高水平，又能保持操作稳定容易控制，是很有意义的问题。我们选用生物流化床和接触氧化法串联流程处理裂解与双环生产混合废

表 2 不同体积负荷对生化处理效果的影响

总体积负荷		一段生物流化床										二段接触氧化池								
COD 负荷	BOD <sub>5</sub> 负荷	温度 (°C)	污泥 负荷	COD 体积 负荷	BOD <sub>5</sub> 体积 负荷	COD			BOD <sub>5</sub>			温度 (°C)	COD 体积 负荷	BOD <sub>5</sub> 体积 负荷	COD			BOD <sub>5</sub>		
						进 水	出 水	去 除 率	进 水	出 水	去 除 率				进 水	出 水	总 去 除 率	进 水	出 水	总 去 除 率
2.65	1.54	50	0.46	4.02	2.33	669	211.0	68.5	284.3	19.4	93.2	常温	2.45	0.58	211.0	91.5	86.3	19.4	2.9	99.0
3.07	1.78	50	0.39	4.65	2.70	680	251.0	63.1	332.3	46.3	88.1	"	3.21	0.76	251.0	82.0	87.9	46.3	4.0	98.8
3.97	2.30	50	0.45	6.06	3.52	654	224.0	65.7	357.0	63.0	82.4	"	4.00	0.95	224.0	91.7	86.0	63.0		
5.14	2.98	50	0.44	7.81	4.53	753	248.7	67.0	425.0	48.0	88.7	"	4.93	1.17	248.7	93.8	87.5	48.0	8.2	98.1
5.78	3.35	50	0.35	8.77	5.09	792	204.5	74.2	449.0	61.6	88.3	"	4.37	1.04	204.5	96.6	87.8	61.6	9.4	97.9
6.26	3.63	50	0.40	9.51	5.51	763	225.8	70.4	475.6	28.5	94.0	"	5.40	1.28	225.8	101.1	86.7	28.5	4.0	99.2
6.70	3.89	50	0.26	10.17	5.90	744	180.6	75.7	444.0	26.9	93.9	"	4.20	1.14	180.6	107.0	85.6	26.9	5.4	98.8
7.25	4.36	50	0.30	11.41	6.62	759	264.0	62.2	436.0	77.0	82.3	"	7.63	1.82	264.0	117.0	84.6	77.0	16.2	96.3

注：1.污泥负荷：公斤BOD<sub>5</sub>/公斤挥发泥·日  
2.COD体积负荷：公斤COD/米<sup>3</sup>·日  
3.BOD<sub>5</sub>体积负荷：公斤BOD<sub>5</sub>/米<sup>3</sup>·日  
4.去除率：%

5. BOD<sub>5</sub>体积负荷=COD体积负荷×0.58，系数0.58为11次进水BOD<sub>5</sub>/COD试验数据的平均值  
6.COD、BOD<sub>5</sub>的单位mg/L.

水, 试验结果如表2所示。试验后半阶段, 一段生物流化床体积负荷达5公斤 $BOD_5$ /米<sup>3</sup>·日~6.6公斤 $BOD_5$ /米<sup>3</sup>·日, COD去除率为65%~75%。二段采用接触氧化池, 负荷控制在1.0~1.8(公斤 $BOD_5$ /米<sup>3</sup>·日), COD去除率为41%~56%, 不发生填料堵塞现象。两段总体积负荷为3.4~4.4(公斤 $BOD_5$ /米<sup>3</sup>·日), COD总去除率可达85%~88%。因此, 用采生物流化床和接触氧化池串联流程, 使生物流化床负荷高与接触氧化法出水水质好的特点相结合, 即提高了总的体积负荷, 又可以保证出水水质。

#### 四、存在问题

生物膜法具有许多优点, 但我们认为存在如下几方面的问题。

##### 1. 接触氧化法的填料问题

目前国内接触氧化法大部分用蜂窝填料, 如纸蜂窝, 使用寿命短; 塑料蜂窝填料造价较高。近年来发展了软性填料, 尽管它具有强度高、价格低、不易堵塞、运输方便等优点, 但它有一定的适用范围。在我们进行含高钙盐废水试验时, 出现结块现象。因此发展多种廉价的填料, 是当前急需解决的问题。

##### 2. 接触氧化法的堵塞问题

附着在氧化池填料上的生物膜, 由于不断吸附分解有机物质, 并得到充足的氧气,

使细菌新陈代谢旺盛, 但生物膜的厚度必须适当, 超过一定的限度, 由于空隙的急剧减少而产生堵塞, 使处理装置不能正常进行。除控制负荷适当以预防堵塞外, 一般解决的办法是定时用大气量搅动氧化池, 把衰老的生物膜从填料上吹脱下来, 从沉淀池排出。通过试验, 我们认为接触氧化法脱除生物膜, 以加大气量进行冲击比加大回流水流速为好; 但光用气又不能将脱落的污泥带出, 还需要有回流泵, 以提高水的上升流速, 这样又增加了电耗。因此, 最经济有效的解决堵塞问题的办法尚需进一步研究。

##### 3. 生物流化床载体问题

生物流化床载体的选择很重要, 它既要有很大的比表面积, 又要比较容易流化, 减少动力消耗。目前国内外多用0.1mm~0.5mm的建筑砂。我们曾经做过不同载体的选择试验, 有石英砂、建筑陶粒、聚氯乙烯环、聚丙烯颗粒、苯乙烯二乙烯苯共聚白球等, 这些填料各自存在一定问题, 有的比重较大, 消耗动力多; 有的太轻, 不能很好流化; 有的则价格太高, 不适于大批使用。因此载体的选择涉及流化床是能否推广应用的关键问题之一。

此外接触氧化法用于生产装置时, 填料的安装、检修、更换都存在一定的困难, 也有待逐步解决。

(上接17页)

滤料。用沸石滤料滤池处理水产养殖场的排水时, 滤池可直接投入运行, 不需经过生物膜培养阶段。在滤池运行的初期可利用沸石的离子交换作用去除水中的氨氮, 运行一段时间后滤池中的生物对氨氮的去除起主要作用, 同时兼有沸石的吸附交换作用。由于滤料的多孔性及颗粒表面的不光滑性, 能很好的截留悬浮物。实测滤池的截污能力可达

36.6kg悬浮物/米<sup>3</sup>浮石。

##### 4. 运行管理

鱼池排水中所含的悬浮物主要是鱼的排泄物及残饵, 在厌气条件下很易发酵、发黑变臭。因此, 保证滤池进水的溶解氧含量, 掌握好滤池的反冲洗技术, 是滤池正常运行的重要一环。针对养鱼污水中悬浮物粘性大、易发酵的特点, 可采用气、水交替冲洗, 气、水同时冲洗的技术。



# 生物膜法处理技术在水产养殖业中的应用

北京市环境保护科学研究所 徐乃珩

七十年代我国开始发展工业养鱼、养虾、生产苗种等“第二渔业”。在工业化养殖中要获得高产、稳产，关键之一是养殖池水质的控制。

## 一、养殖池水质标准及排水水质

对鱼类和水生生物非离子氨的水质标准，美国环境保护局定为 $0.02\text{mg/L}$ ，有人认为应小于 $0.02\text{mg/L}$ 。亚硝酸盐的水质标准有人认为应小于 $0.1\text{mg/L}$ 。

我们对北京市昌平区水产养殖场三期工业化罗非鱼成鱼饲养池水质进行了测定。其水质的变化范围为： $\text{pH}7.3\sim 7.7$ ，氨氮最高达 $4.65\text{mg/L}$ ，亚硝酸盐小于 $0.15\text{mg/L}$ ，硝酸盐小于 $1.3\text{mg/L}$ ， $\text{DO}4\text{mg/L}$ 以上， $\text{BOD}$ 值除一个数据为 $16\text{mg/L}$ 以外，其余均小于 $10\text{mg/L}$ 。

从上述的水质分析可知，鱼池排水是属于低浓度含氮废水，利用生物膜法处理该种废水是依靠亚硝酸菌将氨氮氧化成亚硝酸盐亚硝酸盐不稳定，很易由硝化菌氧化成硝酸盐。硝酸盐可以由藻类吸收，亦可通过厌氧的脱氮菌分解为一氧化氮和游离氨。

## 二、沸石滤池处理鱼池排水的研究

沸石是一种含水的碱金属和碱土金属的架状铝硅酸盐。由于沸石具有一定直径的孔隙和空腔，具有独特的吸附性能和离子交换性能。因此，可利用沸石作为滤池的填料。

北京市环境保护科学研究所分别在北京市万泉庄渔场和昌平区水产养殖场进行了以天然斜发沸石为滤料，用沸石滤池作为鱼池

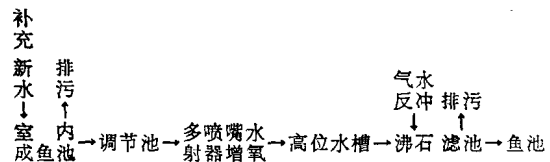
排水处理构筑物的半生产性试验和生产装置试验。

### 1. 装置规模及处理效果

#### (1) 一级沸石滤池处理

沸石滤池直径为 $500\text{mm}$ ，由钢板焊制，以不同级配的卵石作支承层，垫层高 $500\text{mm}$ ，采用浙江湿云的斜发沸石为滤料，滤料粒径为 $1\sim 5\text{mm}$ ，沸石滤层高 $1.1\text{m}$ ，底部升流式进水，滤速为 $16.5\text{m/h}$ ，处理量为 $3.3\text{m}^3/\text{h}$ 。

处理流程如下：



沸石滤池的处理效果见图 1

运行期间沸石滤池的氨氮负荷为 $168\text{g}/\text{m}^3\sim 755\text{g}/\text{m}^3$ 滤料，氨氮平均去除率为 $90\%$ 左右，而水中亚硝酸盐含量平均为 $0.444\text{mg/L}$ 。出水亚硝酸盐含量未达到养鱼的水质要求，导致鱼产量不高。

#### (2) 二级沸石滤池串联处理

滤池平面尺寸为 $2.7\text{m}\times 2.7\text{m}$ ，总高 $3.1\text{m}$ ，滤池由钢板焊制，滤池垫料层和滤料层均用浙江缙云斜发沸石，垫料层高 $600\text{mm}$ ，为不同级配。滤料层高 $1100\text{mm}$ ，粒径为 $3\sim 5\text{mm}$ 。第一级滤池为升流式，第二级滤池为降流式。设计水量为 $100\text{m}^3/\text{h}$ 。养鱼车间面积为 $200\text{m}^2$ ，进行常年培育鱼苗、鱼种、成鱼饲养、鱼苗雄性化等各种试验。

处理流程如下：