

生物流化床处理城市污水的试验研究

张自杰 吕炳南

(给水排水教研室)

摘 要

本试验从我国国情出发,立足于以空气作为氧源,以哈尔滨市污水为原污水,对两相及三相两种类型的生物流化床作了比较系统的试验研究,并与活性污泥法作了对比试验,对流化床的净化效果、效率与负荷的关系、温度的影响、载体的选择以及床内的脱膜方法等进行了比较广泛的探讨,取得了大量的数据,并作出了相应的结论。

前 言

提高处理效能,减小构筑物容积,简化运行管理程序等,是提高、改进污水生物处理技术的主要目标。实践证明,生物流化床处理技术由于具有一系列特点,因此具有达到这一目标的条件。生物流化床的主要特点是:(1)载体粒径很小(0.2~1.2毫米),因此表面积很大,载体量可由人工控制,为提高单位容积流化床反应器内的生物量提供了有利条件,而生物量的提高是提高净化效能的关键性因素;(2)无需污泥回流,便于运行管理;(3)污水与载体反复接触,固、液界面不断更新,强化了两相间的传质过程。

生物流化床有二相式和三相式之分,二相式是在流化床反应器外充氧,使一部分水循环,并对其进行充氧,使其起到氧的载体的作用,此外,还能使流量增加,提高流速,使载体流化。三相式则在器内鼓风充氧,并推动载体在器内循环流动。

生物流化床有可能成为具有高效能、高效果这样“双高”的处理技术。城市污水处理事业在我国尚处于起步阶段,探讨、发展这样的处理工艺,是具有重要实际意义的。

一、试验目的与对象

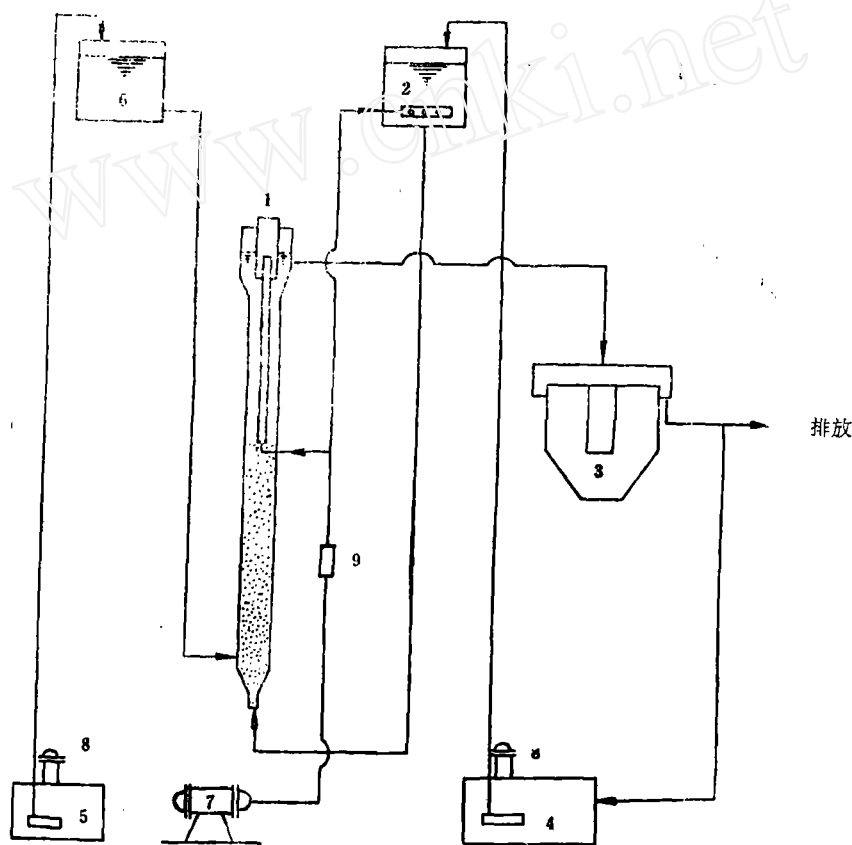
在本试验之前曾进行过为期约半年的预备性试验,在它的基础上才全面铺开,进行了约一年的正式试验。试验的目的是:在工艺、载体以及充氧和脱膜方式等各方面进行更广泛和深入的试验研究,探讨其净化功能和存在的问题,从而选定合理的工艺技术和有关技术参数,为今后能够在较大范围内进行试验创造条件,并对某些理论问题进行探讨。

试验是在哈尔滨建工学院污水生物处理试验室内进行的, 试验用原水是实际的哈尔滨市污水, 在本试验期间 BOD_5 的变化范围为31~365毫克/升, 平均为124.97毫克/升, COD 变化范围为69~539毫克/升, 平均为265.03毫克/升, $\frac{BOD_5}{COD} = 0.49$, 可生化性良好。

二、试验流程、模型设备与载体

本试验共用三套模型系统, 其中属于二相式的二套, 编号为流化床Ⅰ、Ⅱ, 流化床Ⅱ是主要用以选定载体为目的的试验模型, 属于三相式者一套。

生物流化床Ⅰ、Ⅱ的试验流程示于图1。主要试验模型——流化床, 是由内径30毫



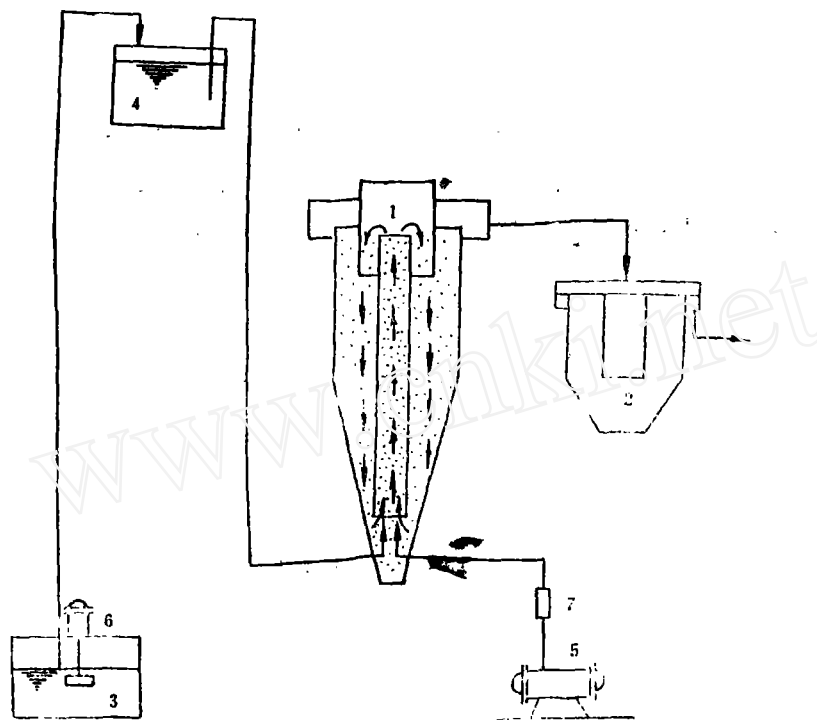
1—流化床；2—充氧高位水箱；3—二次沉淀池；4—循环水箱；5—原水贮水箱；

6—原水高位水箱；7—空压机；8—抽水泵；9—转子流量计

图1 生物流化床（二相式）Ⅰ、Ⅱ试验流程

米、高2000毫米的有机玻璃管制成, 其上部有上口直径为100毫米、高170毫米的渐扩管段, 再上还有一段高为162毫米的圆管, 其下部则接有底部直径(内)为15毫米、高100毫米的渐缩管段。二次沉淀池也由有机玻璃制成, 容积14升, 其它各水箱则由钢板或塑料制成。

三相式流化床试验模型流程示于图2。其主要试验模型为流化床曝气筒，由有机玻璃制成，直径185毫米，圆筒部分高300毫米，其下为截头圆锥部分高330毫米，总容积



1—流化床曝气筒；2—二次沉淀池；3—原水水箱；
4—高位水箱；5—空压机；6—抽升泵；7—转子流量计

图2 生物流化床（三相式）试验模型系统图

13升，在曝气筒内设内径为40毫米的中心管，空气与原污水由底部进入，载体在空气流的作用下，由中心管的底部上升，从上口处溢出，由中心管外侧下降，从而在曝气筒内形成循环流动，在曝气筒的上部中心管外侧设直径为135毫米的套管，在套管与曝气筒内壁间有宽为25毫米的静止空间，处理水与载体在此分离。

试验曾使用过的载体有：石油焦、河砂、焦炭、烟道灰、火山灰等。各种载体均经25~30mesh筛分，粒径均为0.4~1.0毫米。二相式流化床的载体投加量为床高的20%，三相式则为容积的10~15%。

三、试验过程

（一）二相式生物流化床

本试验从当年6月初开始到次年4月末结束，历时11个月。整个试验期可分为四个

阶段。现分别简述于下:

1. 调试与生物膜培养阶段

流化床 I 经一个月的调试于 6 月 11 日正式开始运行, 以石油焦为载体, 直接用城市污水培养生物膜, 按低负荷运行, 污水循环不排放, 每日补充一定数量的新鲜污水, 经两周后载体均已挂膜, 肉眼直观载体表面光泽消失, 显微镜镜检, 载体表面已有菌胶团出现, 原生动物则发见大量的草履虫和豆形虫, 又经 10 日左右, 生物膜已形加厚, 肉眼所见载体呈煮熟的小米粒状, 菌胶团发育良好, 出现固着型原生动物如钟虫及等枝虫等, 时还有轮虫出现, 由于载体比重大减, 循环水量降低一半就可使载体有 200% 的膨胀。我们认为生物膜已经成熟乃于 8 月 1 日正式通水试验。

在这个期间, 流化床 II 也于 7 月 18 日投入运行, 这是以选定载体为主要试验目的的流化床模型, 首先使用黑龙江省五大连池火山灰作为载体。

2. 常温运行阶段

从 8 月 1 日到次年 1 月 10 日, 流化床模型在常温条件下运行, 在这个期间对水温采取自由浮动方式未加人工控制, 水温从 8 月的 27℃ 到 1 月的 11℃。这个期间的流化床 I 按两档流量进行试验, 即 1.0 毫升/秒及 1.5 毫升/秒, 相应的停留时间为 33.3 和 22.2 分钟, BOD 污泥负荷介于 0.2~2.67 公斤/公斤·日之间, 平均为 1.0 公斤/公斤·日。BOD 容积负荷介于 1.56~23.68 公斤/米³·日之间。负荷也采用自由浮动方式, 未加人工控制。

在这个试验期间, 流化床 I 始终运行稳定、正常, 处理效果良好。

流化床 II 开始以火山灰为载体, 经一个月的运行后改用焦炭载体, 又经三个月的运行后, 从 11 月 15 日起又改为河砂载体, 各种载体的具体情况将于“载体的选择”一节内详述。

3. 低温运行阶段

哈尔滨地处北方寒冷地区, 考察本试验设备在低温条件下的净化功能, 是具有现实意义的, 从 1 月 10 日至 2 月 4 日, 流化床 I、II 均进行了低温试验。我们以 10℃ 为低温线, 分三档: 8~9℃、7℃、5~6℃, 每档约运行一周左右。采取人工降温措施, 将冰块装入塑料袋内然后置放在各水箱中, 随时更换, 并根据进水温度增减冰量。

在低温试验阶段, 采用低负荷, 即流量为 1.0 毫升/秒, 污泥负荷介于 0.21~1.0 公斤/公斤·日之间。

在以上三个试验阶段, 测定项目有: 水温、PH 值、COD_{Cr}、BOD₅、MLVSS、VS₃₀ 等, 生物相每日镜检 1~2 次。

4. 冲击试验阶段

为了考察流化床对冲击负荷的适应性与恢复能力, 在试验的最后阶段进行了冲击负荷试验。方式是在正常运行中突然加大 BOD 负荷, 向水中投加葡萄糖, 使 COD 值从原水中的 289.25 毫克/升上升到 604.86 毫克/升, 考察水质突然变化对流化床净化功能的影响, 经 4 小时后再换成原来的水质, 再考察流化床的恢复能力。冲击负荷期间每隔一小时取样一次测定 COD, 恢复期间则每隔二小时。

表 1 中所列举的是二相式流化床试验模型的各项运行参数。

二相式生物流化床试验模型运行参数

表 1

阶段	起止日期 及日数	流 量		停留时间		COD容积 负荷 公斤/米 ³ ·日	BOD ₅ 负荷		水温变化 范 围 ℃
		毫升/秒	升/时	时	分		容积负荷 公斤/米 ³ ·日	污泥负荷 公斤/公斤·日	
I	11/6~31/7 50	0.5	1.8	1.11	66.6	1.51~8.15	0.67~2.61	0.12~0.46	21~27
II	2/8~1/11 90	1.0	3.6	0.56	33.3	0.87~14.11	1.56~7.26	0.21~1.01	13~25
	6/11~9/1 60	1.5	5.4	0.37	22.2	11.63~34.96	6.54~23.68	0.77~2.67	11~16
III	10/1~4/2 23	1.0	3.6	0.56	33.3	9.69~17.49	6.58~11.69	0.71~2.00	5~9
IV	18/2 9~13时	1.0	3.6	0.56	33.3	12.40~23.92	10.07~18.78	0.64~0.76	11

(二) 三相式流化床

对三相式生物流化床的试验工作可分为二个大阶段：第一阶段是探索性试验近半年；第二阶段为正式试验，各项运行参数及运行时间列举于表 2 中。

三相式生物流化床第二阶段试验运行参数

表 2

起止时间 及日数	流 量		停留 时间 (时)	温 度 变化范围 ℃	BOD 容积负荷	备 注
	毫升/秒	升/时				
4/5~26/5 (22)	0.5	1.8	7.2	18~20	0.37~0.93	石油焦载体
28/5~2/6 (6)	1.0	3.6	3.6	20~21	0.57~0.81	"
3/6~11/6 (9)	1.2	4.32	3.0	19~21	0.96~1.44	"
16/6~15/7 (30)	1.5	5.4	2.4	22~26.5	0.6~0.66	"
22/7~13/9 (50)	2.0	7.2	1.8 1小时48分	20~26	0.48~2.27	石油焦 烟道灰
16/9~30/10 (45)	2.5	9.00	1.43	10~20	0.48~2.06	烟道灰
1/11~25/12 (55)	3.0	10.80	1.20	10~14.5	2.11~5.44	"

生物流化床 I 净化效果及运行数据平均值汇总表

表 3

目 期	T ℃	Q 毫升/秒	t 小时	COD (毫克/升)				BOD (毫克/升)				MLSS	MLVSS	污泥 负荷 LS
				进水	出水	去除率 %	容积 负荷 (LVC)	进水	出水	去除率 %	容积 负荷 (LVB)			
11/6~30/6	21.5	0.5	1.11	194.19	50.96	69.72	4.2	85.6	6.9	90.65	1.84	5700	3700	0.33
1/7~10/7	25.3	0.5	1.11	108.40	32.33	69.00	2.34	46.55	5.91	86.72	1.01	5700	3700	0.18
11/~20/7	25.7	0.5	1.11	363.83	18.81	93.35	7.86	118.1	7.12	93.97	2.55	5700	3700	0.45
21/7~31/7	24.5	0.5	1.11	165.11	34.21	80.05	3.51	84.71	3.8	95.38	1.83	5700	3700	0.32
31/7~9/8	25	1.0	0.56	195.48	34.72	81.07	8.49	79.51	5.87	92.13	3.44	7300	4900	0.47
10/~19/8	25	1.0	0.56	247.02	56.5	75.15	10.67	123.97	8.17	93.58	5.36	7300	4900	0.73
20/8~29/8	23	1.0	0.56	167.09	29.25	80.07	7.22	77.44	4.06	93.45	3.35	7300	4900	0.46
30/8~8/9	22	1.0	0.56	189.25	31.28	80.59	8.17	101.85	7.61	91.38	4.40	7300	4900	0.60
9/9~18/9	20	1.0	0.56	254.38	38.93	81.09	10.99	76.46	4.89	92.80	3.31	7300	4900	0.45
19/9~28/9	19	1.0	0.56	207.26	43.81	77.38	8.96	86.75	4.61	94.06	3.75	7283	4850	0.51
30/9~8/10	18	1.0	0.56	140.88	24.48	82.26	6.09	50.1	5.3	89.42	2.16	5836	4007.5	0.23
9/10~18//10	14	1.0	0.56	183.31	37.26	79.55	7.92	—	—	—	—	—	—	—
29/10~8/11	14	1.0~ 1.5	0.56~ 0.37	211.85	48.5	77.69	11.92	—	—	—	—	—	—	—
9/11~18/11	13	1.5	0.37	222.39	59.3	72.6	14.41	105.6	11.29	89.31	6.84	8032.7	5539	0.77
19/11~8/12	14	1.5	0.37	442.71	59.2	86.8	28.69	171.77	18.1	88.89	11.13	7374	5753	1.26
9/12~18/12	13	1.5	0.37	413.46	77.0	81.36	26.79	318.93	17.95	94.23	20.67	6816	4871	2.33
19/12~28/12	11.5	1.5	0.37	323.78	59.41	82.02	20.98	167.92	14.97	90.02	10.89	8849	6049	1.22
29/12~8/1	11	1.5~ 1.0	0.37~ 0.56	352.20	61.66	81.06	18.77	214.7	14.22	93.24	12.63	9244	6836	1.53
9/1~18/1	8.5	1.0	0.56	379.75	71.21	75.75	13.27	223.48	23.87	88.58	9.58	7393	5668	1.37
19/1~28/1	6.5	1.0	0.56	310.71	65.20	70.59	13.32	199.63	13.64	90.05	8.55	9756	7294	0.95
29/1~2/2	6	1.0	0.56	332.44	70.9	78.45	14.3	248.67	21.85	91.19	10.66	1064.2	7472	1.12

四、試驗結果与分析

(一) 生物流化床 I

1. 净化效果的一般情况

表 3 所列举的是以 10 天为一时段的运行参数与净化效率的平均值。以时段为横座标, 以 BOD、COD 容积负荷与相应的出水 BOD、COD 平均值为纵座标, 点绘出逐时段的变化曲线 (图 3)。

从表中所列数据及图 3 可见, 生物流化床 I 在常温运行期间, 在各种负荷条件下, 出水的 BOD₅ 值均低于 20 毫克/升, 其中 80% 低于 10 毫克/升。出水的 COD 值均低于 8 毫克/升, 其中 80% 低于 60 毫克/升。

图 4 所示是 BOD 容积负荷 (上) 和 BOD—污泥负荷 (下) 与 BOD 去除率的关系曲线

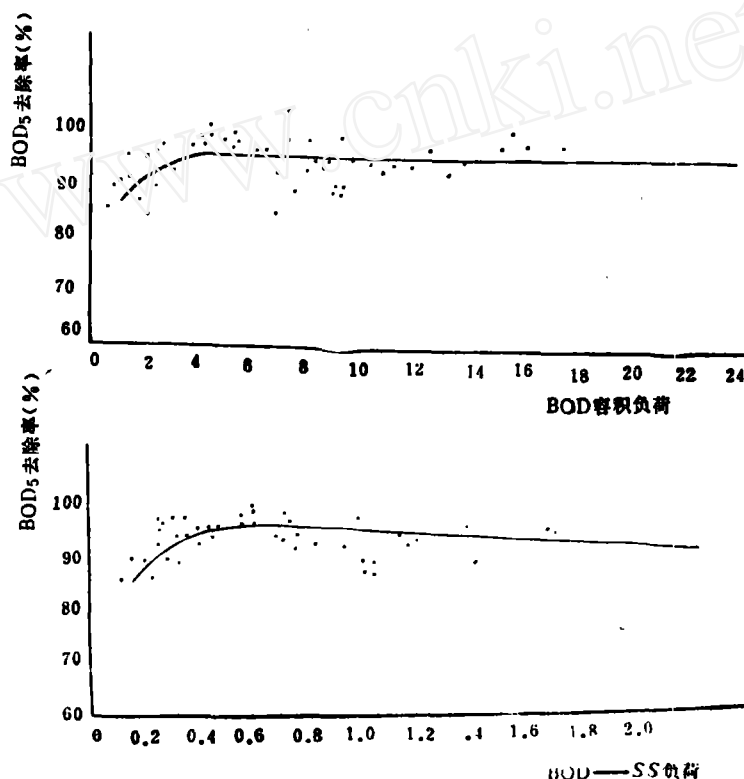


图 4 BOD 负荷与 BOD 去除率的关系

未考虑其它因素)。图中低负荷有一些去除率较低, 因为这些数据是在试验初期的试运行阶段取得的。从总的趋势看来, 随着负荷的提高, 去除率略形下降。据上图可以判定: 最佳 BOD—污泥负荷为 0.4~1.0 公斤/公斤·日, 最佳 BOD 容积负荷为 5~9 公斤/米³·日。

2. 与活性污泥法模型试验结果的对比

在进行本试验的同时, 还并行着三种活性污泥法的模型试验, 现将其试验所得数据列举于表 4 中。从表所列数据可见, 在处理水中的 COD、BOD 值及去除率大致相同的条件下, 污水在处理设备中的停留时间, 流化床只占各种活性污泥法的 1/3 左右, 而污泥

生物流化床与各种类型活性污泥法净化效果对比

表 4

系 统	参 数	温度 ℃	t (时)	COD			BOD ₅			BOD负荷	
				进水	出水	%	进水	出水	%	BOD-SS L _s	容积负荷 L _{V B}
活 性 污 泥 法	完全混合	18	1.60	132	6.98	74.3	51.0	2.5	81.5	0.11	0.77
		23.5		508 (289.9)	76.74 (46.3)	97.5 (84)	322 (153.9)	22.45 (8.64)	98.7 (94.4)	0.73 (0.30)	4.79 (2.38)
	吸附再生	18	1.70	132	7.2	43	51.0	3.0	85.6	0.086	0.73
		23.5		508 (259.2)	87.2 (61.8)	96.9 (76)	322 (153.6)	36.5 (9.9)	98 (93.6)	0.56 (0.25)	4.55 (2.16)
	两段法	18	1.43	132	15.2	52	51.0	4.1	85	—	1.029
		23.5		508 (283.8)	98.9 (54.6)	95.3 (80.8)	326 (179.6)	27.6 (11.9)	98.5 (93.3)	—	5.6 (2.73)
生物流化床	生物流化床	13	0.37	109.12	21.75	66.89	36.03	2.5	85.43	0.21	1.56
		25	0.56	539.55 (276.65)	79.9 (47.3)	92.45 (79.8)	365 (202.65)	20.70 (9.32)	97.98 (93.02)	2.67 (0.812)	23.68 (6.61)

注：括弧内为平均值

负荷，流化床为活性污泥法的2.7~3.2倍，容积负荷为2.4~3.0倍。

3. 低温试验及其结果

低温试验取得的数据列举于表5中，为了对比，也列入了常温条件下取得的数据。

低温试验条件及试验结果数据

表 5

试验 天数	T ℃	停留 时间 t (时)	COD毫克/升			BOD毫克/升			BOD负荷	
			进水	出水	去除率 %	进水	出水	去除率 %	BOD-污泥	BOD容积
7	8~9 (8.7)	0.56	226.30	44.17	66.67	153.45	16.15	80.63	0.71	6.58
			408.20 (306.82)	86.79 (70.29)	89.18 (75.73)	230.30 (196.90)	29.22 (21.84)	92.10 (88.46)	1.44 (1.13)	9.87 (8.44)
6	7	0.56	243.10	59.52	73.41	174.55	15.65	86.29	0.77	7.48
			327.25 (301.02)	84.32 (72.36)	81.81 (75.83)	324.00 (229.52)	27.53 (22.36)	91.89 (89.87)	2.00 (1.26)	13.76 (9.84)
10	5~6 (5.5)	0.56	304.94	30.41	74.63	202.90	17.39	89.30	0.65	8.69
			372.10 (333.87)	94.96 (59.61)	91.66 (80.39)	272.85 (241.81)	26.2 (21.55)	92.33 (91.05)	1.77 (1.103)	11.69 (10.36)

常温试验的净化效果(对比用)

53	13	0.37	109.12	21.75	66.89	15.50	11.39	35.43	0.77	6.84
	25	0.56	539.00 (276.65)	79.9 (47.3)	92.45 (79.8)	365.35 (202.68)	20.70 (15.92)	95.18 (91.25)	2.67 (1.51)	23.86 (13.36)

从表中所列数据可见：

(1) 低水温对净化效果的影响是明显的。在试验条件大致相同的情况下，低温下的出水水质均低于常温条件下的出水水质；

(2) 在低温条件下，如果将其负荷降低到常温最佳负荷以下，则可保证出水BOD值在30毫克/升以下，COD值在100毫克/升以下；

(3) 水温在 5 ~ 9 °C 范围内变动, 对净化效果的影响不太明显, 出水水质和去除率都是比较接近的。

从以上各项来看, 应当说这种设备对温度的变化有一定的适应性能, 水温降至 10 °C 以下, 净化效果虽有所降低, 但仍可保证一定的出水水质, 而且在 5 ~ 9 °C 这样的低温范围内, 净化功能差别不大。

4. 冲击负荷试验及其结果

在本试验的最后阶段, 进行了冲击负荷试验, 试验所取得的数据列举于表 6 中。

生物流化床冲击负荷试验数据

表 6

	段 时 (时)	COD						BOD					
		进 水 (毫克/升)	出水(毫克/升)		去除率%			进 水 (毫克/升)	出水(毫克/升)		去除率%		
			I	II	I	II			I	II	I	II	
冲击前	9.00 投加葡萄糖前	289.25	64.3	38.99	77.77	86.52		235.00	17.06	7.63	92.74	96.76	
冲击	10.00	604.86	98.86	69.79	83.65	88.46							
	11.00	"	114.37	79.48	81.09	86.86							
	12.00	"	127.94	85.29	78.85	85.90							
	13.00 冲击停止	"	126.00	104.68	79.17	82.69		438.25	67.25	52.45	84.65	88.03	
恢复	15.00	344.3	89.17	77.54	63.56	68.26							
	17.00	"	73.66	73.66	69.85	69.85							
	8.00	321.3	64.1	64.1	80.05	80.05		207.75	22.50	19.09	84.17	90.1	

从试验数据可以看出(以流化床 I 为准):

(1) 冲击开始 1 小时后, 出水 COD 值即形提高, 2 小时后又形提高, 3 小时后达最高值, 并趋于稳定;

(2) 冲击负荷中止后的恢复进程较慢, 直到次日晨 8.00 时才完全恢复。

可以作出如下判断:

在冲击负荷期, 进水浓度提高一倍, 出水浓度也提高一倍, 去除率并未降低, 从这个意义来说, 冲击负荷并未造成影响。冲击负荷的影响主要反映在冲击中止以后的恢复进程较慢上, 据此可以说, 这种处理设备对冲击负荷是有一定的适应性的。

(二) 生物流化床 II 净化效果的一般情况

按与生物流化床 I 同样的方式对生物流化床 II 的试验数据进行加工整理, 得表 7 及图

生物流化床Ⅱ净化效果及运行参数平均值汇总表

表 7

日期	T ℃	Q 毫克/秒	t 小时	COD 毫克/升				BOD 毫克/升				备注
				进水	出水	去除率 (%)	容积负荷 (LVC)	进水	出水	去除率 (%)	容积负荷 (LVB)	
19/8~29/8	22	1.0	0.56	198.58	50.24	74.19	8.51	83.37	4.69	93.06	3.58	焦
30/8~8/9	22	1.0	0.56	208.99	52.79	72.88	8.96	101.85	8.10	90.56	4.36	
9/9~18/9	20	1.0	0.56	289.51	75.6	72.46	12.41	87.74	4.46	94.48	3.76	
19/9~28/9	18	1.0	0.56	207.29	42.17	78.83	8.89	94.8	7.6	91.98	4.06	
29/9~8/10	16	1.0	0.56	116.63	38.91	65.00	5.00	—	—	—	—	
9/10~18/10	14	1.0	0.56	183.31	45.95	74.63	7.86	50.10	5.6	88.82	2.15	炭
19/10~28/10	12	1.0	0.56	112.13	35.65	64.85	4.80	—	—	—	—	
29/10~7/11	13	1.0	0.56	188.81	41.72	78.21	9.51	71.93	5.03	93.01	3.09	河
8/11~17/11	14	1.5	0.37	225.22	58.44	73.55	14.61	—	—	—	—	
18/11~27/11	14	0.5	1.11	452.83	53.36	97.09	11.47	219.77	21.29	89.46	6.30	
28/11~17/12	14	1.0	0.56	463.85	46.25	89.38	19.88	140.55	12.71	90.97	6.03	
8/12~17/12	13	1.0	0.56	417.28	69.27	83.36	18.56	318.93	16.7	94.08	13.67	砂
18/12~27/12	14	1.0	0.56	333.45	59.55	82.18	14.29	100.65	11.65	92.75	6.83	
28/12~6/1	13	1.5	0.37	350.70	70.50	81.80	21.27	215.54	22.35	89.10	13.98	低 温
7/1~16/1	10	1.0	0.56	324.87	68.92	78.04	16.55	179.85	23.85	86.32	9.01	
17/1~26/1	7	1.0	0.56	297.08	71.95	75.33	12.73	219.17	20.13	90.81	9.39	
27/1~5/2	5.8	1.0	0.56	294.02	64.42	80.97	14.50	241.81	18.26	92.48	10.37	

从表 7 及图 5 可以看到:生物流化床Ⅱ在常温运行期,在各种负荷条件下,处理水的 BOD₅ 值均低于 25 毫克/升,其中 80% 的数据低于 20 毫克/升,50% 低于 10 毫克/升。BOD 容积负荷提高一倍(由 6.3 提高到 13.98 公斤/米³·日),出水 BOD₅ 只有微许的提

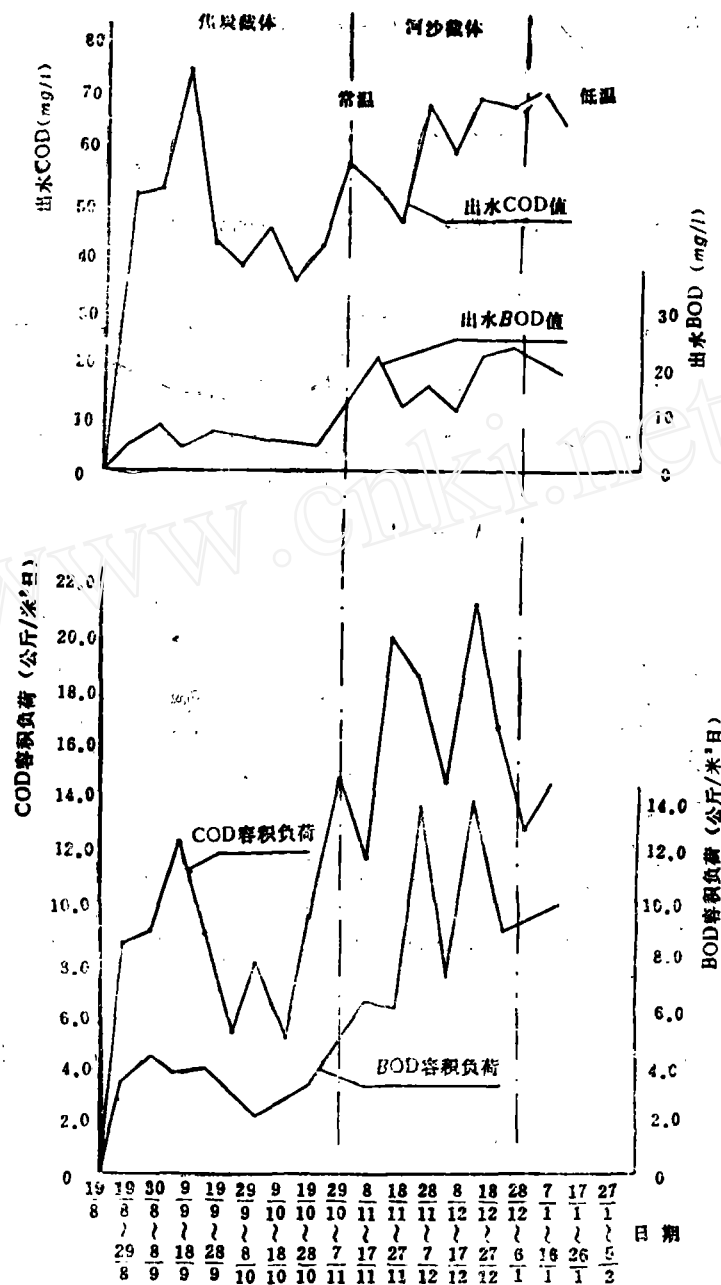


图5 生物化床Ⅰ在试验期负荷与出水COD及BOD变化曲线(以10天为1时段)

高(由21.29提高到23.85毫克/升)。出水COD值均低于80毫克/升。流化床Ⅱ在低温条件下的运行效果也是良好的,出水BOD₅值都在20毫克/升左右,COD在70毫克/升左右。

生物流化床在以焦炭和河砂为载体的运行期间,系统稳定,出水清彻、透明,无色无臭,与流化床Ⅰ是相同的。

(三) 三相式流化床净化效果的一般情况

图6所示为三相式流化床试验模型在本阶段试验所取得的出水BOD₅值及与其相应的BOD容积负荷值逐时段变化曲线。

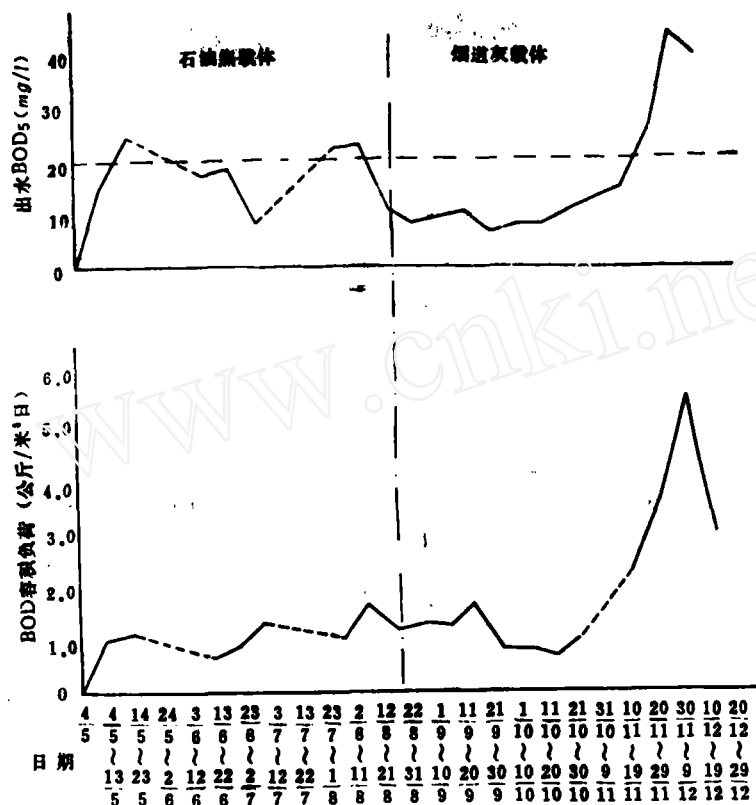


图6 三相式流化床在试验期内容积负荷与出水BOD₅变化曲线 (以10天为1时段)

在整个运行期间,出水BOD₅值均低于60毫克/升,其中的68%数据低于20毫克/升,去除率一般都高于85%,效果是良好的。

从图可见,在负荷基本相同的条件下,烟道灰载体的出水水质高于石油焦载体的出水水质,一般的BOD₅值都低于10毫克/升。

五、生物流化床载体的选择

载体是决定生物流化床净化功能的重要因素,良好的载体应当具备的条件是:比重较小、强度较高,表面积大、吸附力强,而且来源广泛,易于加工,成本低廉等。按这几项条件选定载体是本试验的一项主要内容,为此,在试验中曾先后使用过5~9种载体,现将各种载体的物理性能和其形成流化状态所应具有上升流速等参数列举于表8中。

各种载体的有关物理性能及流态化形成时水的上升流速

表 8

载 体 名 称	粒 径 (毫 米)	比 重	强 度	液化化形成水的上升流速(米/时)			备 注
				开始膨胀 流 化	膨胀率 100%	膨胀率 200%	
烟 道 灰	0.4~1.0	1.62	差	8.18	18.55	32.73	用于三相式流化床
焦 炭	"	1.30	较差	8.73	21.82	39.27	用于流化床Ⅰ
石 油 焦	"	1.95	较强	9.55	36.55	57.82	用于流化床Ⅰ
火 山 灰	"	2.76	强	12.82	50.18	69.27	用于流化床Ⅰ
河 砂	"	2.60	强	—	39.77	61.99	用于流化床Ⅱ

通过试验对各种载体进行了考察,得出如下结论性的意见。

(1) 烟道灰与焦炭载体

这二种载体比重小,有一定的吸附力,生物膜生长情况良好,其缺点是,在生物膜丰满后,比重进一步减轻,易于随水流失,此外,强度差,易于破碎。

烟道灰是燃煤锅炉的烟灰渣,来源比较充足,用做生物载体是适宜的,建议充作三相式流化床载体。

(2) 河砂载体

这是国内、外生物流化床采用最广泛的一种载体,来源广泛,价格低廉,生物膜生长良好。其特点是比重较大,回流水比较高,在常温条件下为1:4,而石油焦载体为1:1,在低温条件下为1:6,石油焦载体为1:3,另外,表面光滑吸附力较差,如在运行期曾有几天由于停电而停运,河砂载体上的生物膜完全脱落,需要重新培养,而在石油焦载体上的生物膜却仍保持一定厚度,易于恢复。

(3) 火山灰载体

在五种载体中,它的比重最大,强度亦大,充作生物载体,动力消耗大,在使用上受到限制。

(4) 石油焦载体

石油焦载体的比重适中,动力消耗低,还具有一定的强度,耗损及流失都比较小,石油焦的吸附能力良好,生物膜生长良好,脱膜情况也好,便于管理。石油焦是石油化工的副产品,来源充足,也易于加工。

从净化功能来看,这几种载体都是良好的,载体的选择应从动力消耗的高低,耗损及流失量的大小以及来源加工等方面综合考虑,从这个意义来说,我们认为充作生物流化床的载体以石油焦为宜,其次为河砂,烟道灰宜于充作三相式流化床的载体。

六、充氧—脱膜装置的试验

持有高出一般活性污泥法几倍甚至十几倍的生物量,是生物流化床具有高效率净化

功能的主要基础。为了使大量的生物膜经常保持着高度的活性，就必须：(1) 在污水中保持充足的溶解氧；(2) 生物膜上的惰性层及时得以更换。这样，充氧和脱膜就成为生物流化床的二项技术关键。国外对这二项技术也寄与了很大的注意，多方探讨。国内的一些单位在这二项技术方面也做过一些工作，如湖北某设计院在试验中曾采用射流曝气充氧，北京某院也曾采用纯氧压力充氧等。

我们在试验中，对这二项技术也作了多方面的探讨和反复试验工作，最后确定采用的是一种充氧和脱膜相结合的设备，图 7 所示为这种设备的示意图。

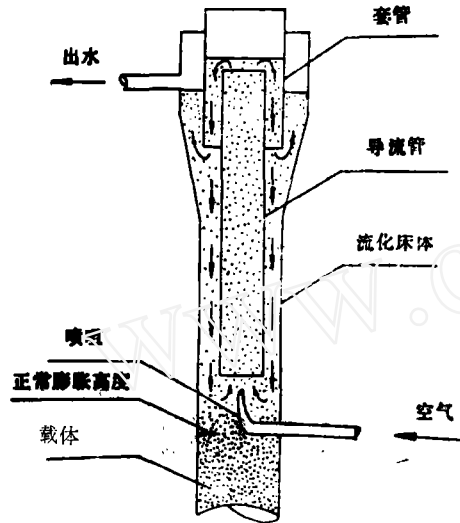


图 7 充氧和脱膜设备

在流化床的上部按装一中心管，其上端高出水面 2 厘米，下端与载体膨胀流化的最高处齐平（本试验为载体充填高度的 300% 处），在其开口处之下按装有空气管的喷嘴，空气进入能够直喷射入中心管。在中心管的上端外侧按装一短套管（径 50mm），在套管与中心管之间有宽为 20 毫米的间隙，套管外与流化床之间也有宽约为 20 毫米的间隙。

载体附着生物膜，其比重即行减轻，在流化过程中，载体在床内自行级配，附着生物膜最厚、比重

最轻的载体位于最高处。当喷射空气时，形成水气混合液体冲入中心管上升，生物膜也随同上升，在上升过程中，由于空气剪切力的作用，外层的生物膜脱落，载体与脱落的生物膜均由中心管上缘溢出，进入其外侧与套管相间的稳流区，脱落的生物膜由于质轻随出水流出床外，而脱膜后的载体，比重加大沉于床的底部，再行与浓度较高的污水相接触，再行挂膜，依此往返循环。

另一方面，空气在中心管上升，与污水强烈混合接触，使氧溶解于污水中，又由于载体的存在，具有填料的作用，能够促进这一过程，表 9 及图 8 所列数据为本试验实测所得，可见，这种装置的充氧效果是非常明显的。

充氧脱膜装置充氧效果测定值（毫克/升）

表 9

测定次数	充氧水箱内 溶解氧含量	流化床内溶解氧含量		氧化床出口处溶解 氧含量	循环水箱 内溶解氧 含量	备 注
		膨胀率 200%处	膨胀率 300%处			
5	7.00~7.50 (7.25)	2.00~4.00 (3.37)	2.40~4.00 (3.29)	3.30~4.45 (4.15)	5.90~6.58 (6.25)	床内不充气脱
3	7.30~7.45 (7.17)	6.15~7.65 (6.77)	5.85~7.45 (6.43)	5.20~6.35 (5.62)	6.20~7.25 (6.75)	床内充气脱

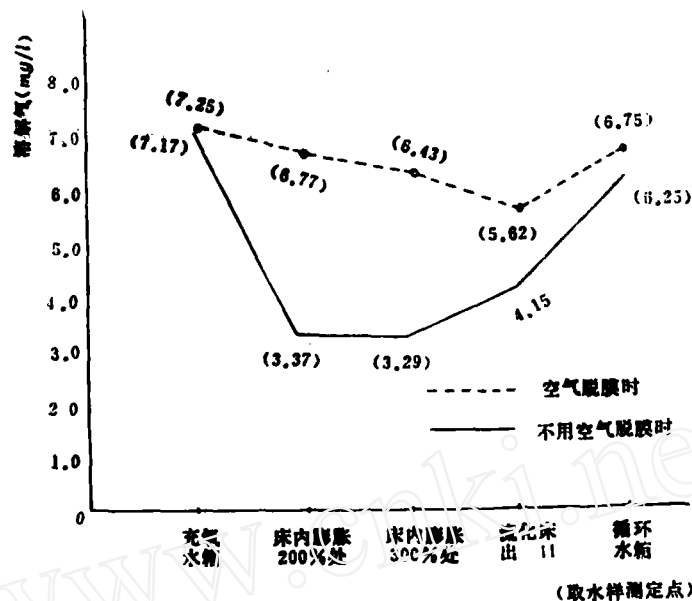


图8 溶解氧测定曲线

根据试验结果,我们认为这种装置兼行充氧、脱膜二项功能,效果是良好的。

结 论

1. 通过试验确证,生物流化床是高效率、高效果的污水生物处理技术,在30分钟的停留时间内, BOD_5 可从原污水的122.65毫克/升降至8.32毫克/升,去除率达93%,而在处理水COD和BOD值大致相同的情况下,污水在处理设备中的停留时间为活性污泥

法的 $\frac{1}{2.8} \sim \frac{1}{4.5}$;

2. 二相式和三相式生物流化床都能够有效地用于处理城市污水,二者相比,二相式的效果更好,效率更高;

3. 本试验对五种载体进行了比较全面的探讨,综合考虑各项因素,作为二相式生物流化床的载体,以石油焦为宜;

4. 以石油焦为载体的二相式生物流化床在常温(11~25℃)条件下的最佳运行参数为:

BOD—污泥负荷 0.4~1.0公斤/公斤MLSS·日

BOD容积负荷 3~9 公斤/米³·日

COD容积负荷 7~20公斤/米³·日

停留时间 30分钟

在低温(5~9℃)条件下,采用的运行参数应低于上列数据10~20%(停留时间则为增加);

5. 以石油焦为载体的二相式流化床,适宜的载体膨胀率为200~300%,循环水与

进水比为1:1~3:1;

6. 在4、5两项的参数运行下,流化床的处理效果良好,能够使BOD₅值从进水的100~350毫克/升降至出水的20毫克/升以下,COD值则从100~500毫克/升降至80毫克/升以下。处理水清澈透明,无色无臭,长期搁置(20℃下15天)不腐化,不变质,达到了稳定的要求,并可以考虑回用;

7. 本试验所提出并试行的充氧—脱膜装置,设备简单,性能良好,具有充氧—脱膜两种功能。

Experimental Study of Municipal Wastewater Treatment by Biological Fluidised Bed

Zhang Zi-Jie Lu Bing-nan

Abstract

According to the conditions of our country, we used the air as oxygen source and municipal wastewater in Harbin as raw waste water and made systematic experimental study of two kinds of biological fluidised beds: one with air—water mixed current, another with separate currents. We compared the results with those of activated sludge process and made a wide range of research into the relationship between the purifying efficiencies and the loads, the effect of temperature, the choice of carriers and the method of sloughing film and so on. A large number of data have been obtained, and relevant conclusions have been made.