

生物/化学(BC)法处理城市污水研究

周克钊

(中国市政工程西南设计研究院, 四川 成都 610081)

摘 要: BC法是生物处理(高负荷活性污泥)与化学处理(絮凝和除磷)相结合的污水处理工艺,其最显著特点是流程中投加化学絮凝剂(三氯化铁),其余则与普通活性污泥法类似。生产性试验($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)证明,BC法具有曝气时间短、投药量少、处理效果好、活性污泥沉降性能好、泥龄短、除磷等特点,特别适用于我国南方低浓度城市污水。BC法具有比普通曝气法更优越的技术经济性能,系统中的铁循环可显著减少化学药剂的投加量。

关键词: 污水处理; 活性污泥; 化学絮凝; 化学除磷; 生产性试验

中图分类号: X505 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4602(2000)10 - 0013 - 05

Treatment of Municipal Wastewater with Biological/ Chemical (BC) Process

ZHOU Ke-zhao

(Southwest China Munic. Eng. Design and Res. Institute, Chengdu 610081, China)

Abstract: BC process is a wastewater treatment process combined biological treatment (high rate activated sludge) with chemical treatment (chemical flocculation and phosphorous removal). The marked feature of this process is the addition of chemical flocculant (ferric chloride) and the rest is similar to the conventional activated sludge process. A full-scale test ($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) verified that BC process has the characteristics of short aeration time and sludge age, low chemical dosage, high treatment efficiency, well settlement of activated sludge. It operates well especially for the low concentration municipal wastewater of the southern cities in China. The technical and economical performance of BC process was better than that of conventional process. The circulation of iron salt could reduce chemical dosage.

Keywords: wastewater treatment; activated sludge; chemical flocculation; chemical phosphorous removal; full-scale test

高负荷活性污泥法的污泥负荷和容积负荷比常规活性污泥法高得多,泥龄很短,曝气时间也短。在高负荷活性污泥法中,由于微生物处于对数增长期,增殖速度较慢的丝状菌难以在系统内存留,从而有效控制了污泥膨胀。高负荷活性污泥法能够显著节省投资和运行费,但迄今未得到广泛应用,其原因主

要在于高负荷运行条件下活性污泥的生物絮凝作用不足,出水含有较多的游离菌体和其他悬浮物,使得BOD₅和其他指标皆去除不充分,难以达到二级处理的排放要求。

在生物处理技术发展的同时,污水化学处理技术也在不断发展,其主要特点是投资省、运行稳定、

基金项目:“八五”国家科技攻关课题(85 - 908 - 03 - 03)

操作灵活、除磷效果好,但不能去除溶解性有机污染物,出水水质也难以达到二级处理的排放要求,运行费用往往偏高。

当代污水处理技术的最重要发展趋势就是生物处理与化学处理的结合,二者相互补充,显然是最合理的工艺流程。BC 法正是这种生物处理(高负荷活性污泥)与化学处理(絮凝和除磷)相结合的城市污水处理技术。

“八五”期间在蛇口污水厂进行了大规模生产性试验,主要包括高负荷试验和同步削减试验。高负荷试验的目的是考查 BC 法在高负荷条件下的性能,同步削减试验则是为了考查蛇口污水厂利用 BC 法扩容改造的可能性。在高负荷试验中,曝气池关小到原来的 $1/4$,污水厂其余设施不变;在同步削减试验中则将初沉池、曝气池和二沉池皆关小到原来的一半,其余不变。试验期间污水厂照常运行,只是在曝气池前或曝气池后增添了投加三氯化铁的设施。

蛇口污水厂设计流量为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用普通活性污泥法工艺,鼓风机曝气,生产性试验流程见图 1。

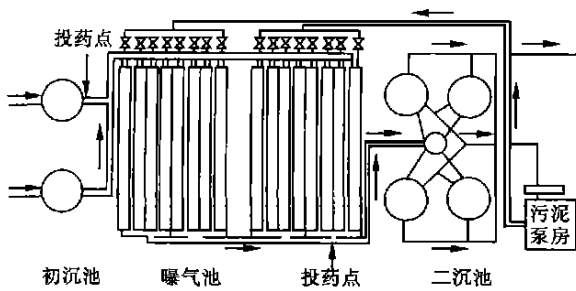


图 1 生产性试验流程

1 机理分析

城市污水中所含污染物是由不同粒径大小的非溶解性组分和溶解性组分构成的。不同粒径的污染物组分具有不同的性质,适用不同的去除机理。因此,污水的可处理性能强烈依赖于污染物颗粒的粒径分布特性,处理过程的各种机理(如沉淀、传输、吸附、扩散和生化等),皆受到污染物粒径的直接影响。

如果依次用沉淀、离心和过滤的方法,可将污水中的污染物分离为可沉组分、胶体组分、超胶体组分和溶解组分,这些组分的粒径、在总污染物中所占比例、成分和耗氧速率见表 1。

表 1 城市污水中有机污染物的粒径与组分

组 分	溶 解	胶 体	超胶体	可 沉
粒径(μm)	< 0.1	0.1 ~ 1	1 ~ 100	> 100
COD(%)	25	15	26	34
TOC(%)	31	14	24	31
脂肪(%)	6	51	24	19
蛋白质(%)	5	25	45	25
碳水化合物(%)	58	7	11	24
生化耗氧速率 K_1	0.39	0.22	0.09	0.08

由表 1 可见,溶解组分、胶体组分与超胶体组分、可沉组分相比,耗氧速率明显高得多,说明易于生化降解,特别是溶解组分的耗氧速率最高,大约是超胶体组分和可沉组分的 4 ~ 5 倍。

各种污水处理单元技术的有效性受到污染物粒径分布的强烈影响,同时,处理技术又会改变粒径分布。沉淀能有效去除 $> 50 \mu\text{m}$ 的污染物,过滤能有效去除粒径 $> 30 \mu\text{m}$ 的污染物,化学絮凝适用于 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 污染物的凝聚,活性污泥适用于处理 $< 10 \mu\text{m}$ 的污染物。

由于大分子和较大有机颗粒被分解酶降解的过程主要是在细菌表面进行,所以该过程与粒径直接相关。在好氧生物处理中, $> 0.1 \mu\text{m}$ 的颗粒基本未被降解;在厌氧生物处理中, $< 1 \mu\text{m}$ 的颗粒可被降解, $> 100 \mu\text{m}$ 的颗粒基本未被降解。

许多研究者认为,城市污水中 60 % 以上的污染物是非溶解性的,只有 30 % 左右的污染物是溶解性的。正如 Culp 指出,生物处理方法能在 1 h 或更短的时间内去除污水中的全部溶解性 BOD。Ericsson 指出,非溶解性有机污染物在好氧生物处理过程中几乎未发生变化,在厌氧生物处理过程中也只有胶体部分被处理,其他部分仍未发生变化。

值得注意的是,溶解性有机污染物被微生物吸收(生物合成)的速度较快,而这些物质在微生物体内的氧化分解则相当慢。对于污水处理而言,其目的是取得净化的出水,因此,只需要生物合成,并不需要彻底氧化分解。另一方面,保持微生物良好的生物絮凝能力则需要较长的曝气时间,但聚集非溶解性污染物可以利用化学絮凝,并不一定单独依靠生物絮凝。正如 Culp 指出,产生可沉淀絮体所需的生物絮凝作用不能在短时间内完成,然而化学絮凝能使固体迅速转化为可沉淀状态。

传统生物处理重在氧化分解,BC 法重在分离。Culp 曾对生物化学联合处理流程进行分析,认为该流程能够显著提高去除有机物和磷的能力;化学絮

凝剂不仅不会损害活性污泥的处理功效,而且提高了沉降性能,使运行更加稳定,污泥更易脱水;药剂费用可以被缩短曝气时间节约的费用补偿;产泥量与传统活性污泥法相差不大。

2 生产性试验

2.1 高负荷试验

2.1.1 运行参数

高负荷试验的运行参数见表 2。

表 2 高负荷试验的运行参数

项目	流量 (10 ⁴ m ³ /d)	曝气时间 (h)	气水比	投药量 (mgFe/L)	回流比 (%)	泥龄 (d)	混合液特性			BOD ₅ 负荷	
							SVI (mL/g)	MLSS (g/L)	MLVSS (g/L)	容积负荷 [kgBOD ₅ /(m ³ ·d)]	污泥负荷 [kgBOD ₅ /(kgMLVSS·d)]
最大	2.28	2.2	3	6.5	83	2.4	110	2.9	1.8	1.2	1.0
最小	1.07	1.0	1	3.0	36	0.4	61	1.3	0.9	0.1	0.1
平均	1.51	1.6	2	4.7	53	1.5	95	2.1	1.3	0.8	0.6

由表 2 可见,曝气时间的平均值为 1.6 h,比普通曝气法的 4~12 h 短得多,仅为其 40%~13%,也仅为该厂设计曝气时间的约 1/3。气水比也比普通曝气法的 9~12 小得多。投药量比一般化学处理所需的 40~200 mgFe/L 小得多,仅为其 12%~2%。试验中曾在曝气池前或后投药,发现效果无明显变化。回流比平均 53%,处于普通曝气法回流比的 25%~50%的上限。泥龄平均 1.5 d,比普通曝气法的 5~15 d 短得多。

SVI 与普通曝气法在 100 mL/g 左右是接近的,说明污泥沉降性能良好。MLSS 平均 2.1 g/L,在普通曝气法 MLSS 的 1.5~3 g/L 范围内。MLVSS 平均 1.3 g/L,占 MLSS 的 62%,与普通曝气法接近而稍低,这是投加了化学絮凝剂的缘故。BOD₅ 容积负荷处于普通曝气法的 0.4~0.9 kg-

BOD₅/(m³·d) 的上限。污泥负荷比普通曝气法的 0.2~0.4 kgBOD₅/(kgMLVSS·d) 高,是该厂设计污泥负荷 0.3 kgBOD₅/(kgMLVSS·d) 的两倍。

生产性试验的回流比受到蛇口污水厂设备能力限制,并使得 MLSS 和 MLVSS 也受到限制。

生产性试验的 BOD₅ 去除容积负荷和污泥负荷受到进水浓度限制,试验期间适逢雨季,进入曝气池的初沉出水 BOD₅ 较低,使试验的负荷受到限制。若不考虑浓度低于平均值的少部分数据,则容积负荷为 1.0 kgBOD₅/(kgMLVSS·d),高于普通曝气法;污泥负荷为 0.7 kgBOD₅/(kgMLVSS·d),是普通曝气法的近两倍。

2.1.2 主要污染物去除效果

高负荷试验期间的主要污染物去除效果见表 3。

表 3 高负荷试验的主要污染物去除效果

项 目	COD(mg/L)			BOD ₅ (mg/L)			SS(mg/L)		
	进 水	初沉出水	二沉出水	进 水	初沉出水	二沉出水	进 水	初沉出水	二沉出水
最 大	844	279	119	318	100	30	750	170	39
最 小	246	147	53	92	22	4	121	64	2
平 均	400	201	79	169	69	15	230	100	16
去除率 (%)		49.66	80.34		59.41	90.86		56.61	93.23
			60.94			77.47			84.40

由表 3 可见,BC 法高负荷试验期间的出水 COD 平均 79 mg/L, BOD₅ 平均 15 mg/L, SS 平均 16 mg/L,说明出水水质良好,达到国家排放标准要求。

相对于进水的去除率, COD 平均 80%, BOD₅ 平均 91%, SS 平均 93%,达到城市污水二级处理要求。相对于初沉出水的去除率, COD 平均 61%, BOD₅ 平均 77%, SS 平均 84%,在普通曝气法的范围内。

试验期间进水 TP 在 1.6~4.7 mg/L 之间,平均 3.7 mg/L;出水 TP 在 0.5~1.4 mg/L 之间,平

均 0.9 mg/L,达到国家排放标准; TP 去除率为 76%,可见 BC 法具有普通曝气法所没有的除磷能力。试验期间进水氨氮并不超标,出水氨氮更少,可见 BC 法与普通曝气法一样也具有去除氨氮的能力。

2.1.3 污泥产量

BC 法高负荷试验期间,根据实测数据(并考虑到试验前后的 MLSS 变化),平均排放剩余污泥 800 kg/d,去除 BOD₅ 为 831 kg/d。由此可以算出污泥产量为 0.96 kgMLSS/kgBOD₅,是普通曝气法污泥产量 0.4~0.6 kgMLSS/kgBOD₅ 的 2.4~1.6 倍。

似乎BC法污泥产量比普通曝气法多得多,其实并非如此,增加的仅仅是剩余污泥,而量大得多的初沉污泥并未增加。

根据前述数据,BC法剩余污泥比普通曝气法多465~299 kg/d。但是,当时排放初沉污泥1963 kg/d,加上剩余污泥800 kg/d,总共2763 kg/d,所以增加的剩余污泥仅占总污泥量的17%~11%,增

加量并不明显。

BC法生产性试验结束一年多以后,污水厂每天的排泥量一直与试验期间相似,并未显著减少,再次证实BC法当时增加的污泥量的确并不明显。

2.2 同步削减试验

2.2.1 运行参数

同步削减试验的运行参数见表4。

表4 同步削减试验的运行参数

项目	流量 (10 ⁴ m ³ /d)	曝气时间 (h)	气水比	投药量 (mgFe/L)	回流比 (%)	泥龄 (d)	混合液特性			BOD ₅ 负荷	
							SVI (mL/g)	MLSS (g/L)	MLVSS (g/L)	容积负荷 [kgBOD ₅ /(m ³ ·d)]	污泥负荷 [kgBOD ₅ /(kgMLVSS·d)]
最大	1.93	3.5	5	5.1	56	3.4	100	2.3	1.4	0.9	0.9
最小	1.37	2.5	3	3.6	40	1.3	71	1.4	0.9	0.2	0.2
平均	1.51	3.2	4	4.6	47	2.1	86	1.6	1.0	0.4	0.4

由表4可见,曝气时间仍比普通曝气法短得多,也比该厂设计曝气时间短。气水比也仍比普通曝气法小得多。投药量基本同高负荷试验,仍比一般化学处理小得多。回流比基本同高负荷试验,仍处于普通曝气法的上限。泥龄比普通曝气法短得多。SVI平均86 mL/g,优于普通曝气法,说明污泥沉降性能良好。MLSS平均1.6 mg/L,仍在普通曝气法的范围内。MLVSS平均1.0 g/L,占MLSS的

63%,基本同高负荷试验。BOD₅容积负荷平均0.4 kgBOD₅/(m³·d),处于普通曝气法的下限。BOD₅污泥负荷平均0.4 kgBOD₅/(kgMLVSS·d),处于普通曝气法的上限,仍高于该厂设计污泥负荷。

同步削减试验期间负荷受到限制,因为雨季而进水浓度低。

2.2.2 主要污染物去除效果

同步削减试验期间的主要污染物去除效果见表5。

表5 同步削减试验的主要污染物去除效果

项 目	COD(mg/L)			BOD ₅ (mg/L)			SS(mg/L)		
	进 水	初沉出水	二沉出水	进 水	初沉出水	二沉出水	进 水	初沉出水	二沉出水
最 大	666	298	98	268	136	23	339	136	27
最 小	205	139	39	30	31	6	99	74	10
平 均	361	207	80	105	65	13	203	107	17
去除率 (%)		42.59	77.75		37.60	87.80		47.13	91.68
			61.24			80.45			84.27

由表5可见,同步削减试验期间的出水COD平均80 mg/L,BOD₅平均13 mg/L,SS平均17 mg/L,基本同高负荷试验,而且出水水质更好。

相对于进水的平均去除率以及相对于初沉出水的平均去除率,基本同高负荷试验,仍达到普通曝气法的处理水平和城市污水二级处理要求。

3 分析和讨论

试验证明,BC法具有曝气时间短、投药量少、处理效果好、活性污泥沉降性能好、泥龄短、具有除磷能力等优点,特别适用于我国南方低浓度城市污水。

试验证明,BC法可以在回流比和污泥浓度皆不高的条件下运行,也可以采用普通沉淀池,并非必须采用高回流比、高污泥浓度和深沉淀池,这就使得BC法可以方便地用于普通活性污泥法污水处理厂

的扩容改造。

BC法生产性试验的持续时间较短,而且试验期间进水浓度较低,负荷受到限制,有待更长期考察。

3.1 投药的必要性

试验中发现,在曝气时间3.2 h条件下,污泥呈褐色,沉降性能良好,对投药是否正常不太敏感;当曝气时间缩短到1.6 h,污泥偏黑色,沉降性能与投药关系密切,投药正常则沉降性能良好,一旦投药停止,则沉降性变差。

这就说明,在曝气时间较长时,活性污泥的生物絮凝作用较强,所以对化学絮凝不太依赖;若曝气时间很短,活性污泥的生物絮凝作用已不足,故此时化学絮凝剂的投加必不可少。

3.2 铁循环

三氯化铁投入曝气池后, Fe^{3+} 离子经过逐步水解, 最后形成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀。由于曝气池内处于富氧状态, 三价铁不可能被还原为 Fe^{2+} 离子。

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 与活性污泥一起进入二沉池和污泥回流系统后, 由于污泥处于缺氧状态, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 可能被还原成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$, 而 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 的溶解度比 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 大得多, 所以将会有 Fe^{2+} 离子出现。

还原溶出的 Fe^{2+} 离子可能随回流污泥再次循环进入曝气池, 在好氧环境中又被氧化为 Fe^{3+} 离子, 这个过程相当于不投药的化学絮凝, 对处理效果有利。系统中的铁随剩余污泥排放而减少, BC 法投加三氯化铁补充了处理系统中铁的减少部分。生产性试验和以前的小试、中试观察到的投药点位置对出水效果影响不大的现象, 其原因正是铁循环。

另一方面, 还原溶出的 Fe^{2+} 离子也可能随二沉池出水排出, 与空气接触后又被氧化, 最终成为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀, 使出水 SS 增高, 对处理效果不利, 而且也不利于铁循环。

一般说来, 出水中 Fe^{2+} 离子的出现与投药量和污泥浓度有关。投药量过大和污泥浓度过高有利于 Fe^{2+} 离子生成, 一旦未能在曝气池中将其全部氧化, 则出水中就会出现 Fe^{2+} 离子; 在适当的投药量 (5 mgFe/L 左右) 和污泥浓度 (3 g/L 左右) 条件下未见出水中 Fe^{2+} 离子出现。因此, 过大的投药量和过高的污泥浓度对 BC 法并非有利。

4 技术经济分析

首先对国内活性污泥法城市污水处理厂的基建投资、占地面积、人员编制、运行成本等费用状况进行调查, 在此基础上按照正规设计程序进行规模为 $(2.5, 10) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 BC 法和普通曝气法污水厂的系列设计, 并按照正规工程概算程序进行经费估算, 然后对二者的费用状况进行比较。

分析结果显示, 在现行价格体系条件下, BC 法具有比普通曝气法更优越的技术经济性能。对于 $(2.5, 10) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的城市污水处理厂, 在处理效果相同 (其实 BC 法由于除磷而更优) 的条件下, BC 法比普通曝气法节约工程总投资 16%、11%、11%, 节约总成本 15%、14%、10%, 节约占地面积 12%、17%、17%。

地价越高, 电价越高, 药价越低, 规模越大, 与普通曝气法相比, BC 法越经济。

5 结论

BC 法最显著的特点是在流程中投加化学絮凝剂, 其余则与普通活性污泥法类似。

试验证明, BC 法具有曝气时间短、投药量少、处理效果好、活性污泥沉降性能好、泥龄短、可除磷等优点, 特别适用于我国南方低浓度城市污水。

试验证明, BC 法可以在回流比和污泥浓度皆不高的条件下运行, 也可以采用普通沉淀池, 这就使得 BC 法可以方便地用于普通活性污泥法污水处理厂的扩容改造。

技术经济分析结果显示, 在现行价格体系条件下, BC 法具有比普通曝气法更优越的技术经济性能, 而且地价越高, 电价越高, 药价越低, 规模越大, BC 法就越经济。

系统中铁循环可减少三氯化铁投加量, 过大的投药量和过高的污泥浓度并非有利。BC 法生产性试验的持续时间较短, 而且试验期间进水浓度较低, 负荷受到限制, 有待进行更长期考察。

致谢

中国市政工程西南设计研究院陈为庄、巫宇峰、刘影、李震雷、廖怀军、李永红、李强、曹征模、王志军参加研究工作, 蛇口工业区公用事业室污水处理厂为生产性试验作出了很重要的贡献, 作者再次表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 稻森悠平. 投加凝聚剂活性污泥法 [A]. 新活性污泥法 [C]. 学术书刊出版社, 1990, 181 - 204.
- [2] 周克钊. 城市污水高负荷活性污泥和化学助凝 (BC 法) 处理技术 [A]. 水和废水技术研究 [C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992, 291 - 299.

作者简介: 周克钊 (1948 -), 男, 四川成都人, 中国市政工程西南设计研究院高级工程师, 硕士, 研究方向: 给水排水和环境水力学。

电话: (028) 3333743(O) 3349173(H)

传真: (028) 3331442 3333743

收稿日期: 2000 - 04 - 02