

PACT 工艺研究进展及应用中应注意的问题

同济大学环境工程学院(上海,200092) 蓝梅 顾国维

[摘要]介绍了粉末活性炭—活性污泥法的产生、工艺流程、特点、作用机理探讨、去除污水中有机优先污染物的动力学模型以及应用 PACT 工艺应注意的几个问题。

[关键词]粉末活性炭—活性污泥法;PACT;AS—PAC;PAC—AS

[中图分类号]X703 [文献标识码]A [文章编号]1005-829X(2000)01-0010-03

The progress of PACT™ and problems in its application

LAN Mei, GU Guo-wei

(Department of Environmental Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper introduces the origin of powdered activated carbon in addition to the activated sludge treatment (PACT™), technical process, characteristic and different PACT™ mechanisms. The paper also introduces the dynamic models of the removal of organic priority pollutants by PACT™. In the end, several problems which should be noticed in applying PACT™ have been discussed.

Key words: powdered activated carbon-activated sludge treatment; PACT™; AS—PAC; PAC—AS

1 PACT 法的产生

由于染料、医药中间体、农药、有机化工废水经处理后有时虽然 COD、BOD 达标,但出水却残留着有毒、难降解三致物质。美国环保局早在 70 年代就要求工业企业采用 BAT 或 BATEA (Best Available Technology Economically Achievable) 处理工艺(即经济上达到的最有效控制工艺)正是在这种背景下,杜邦(Du Pont)公司开发了一种向活性污泥系统中投加粉末活性炭的技术并于 1972 年申请专利,这就是 PACT 工艺(Powdered Activated Carbon Treatment Process),在美国又称为 AS—PAC 工艺(Activated Sludge - Powdered Activated Carbon)。该法一经产生就因其在经济和处理效率方面的优势广泛地应用于工业废水如:炼油、石油化工、印染废水、焦化废水、有机化工废水的处理,该法用于城市污水处理可明显改善硝化效果,因此各国环境工作者对 PACT 工艺表现了极大的兴趣并进行了广泛深入的研究。

2 PACT 的工艺流程和特点

2.1 工艺流程

图 1 所示为一般 PACT 的工艺流程图,PAC 可以连续或间歇地按比例加入曝气池亦可以与初沉池出水混合后再一同进入生化处理系统,在曝气池中吸附与生物降解同时进行。所以可以达到较高的处理效率,PAC 污泥在二沉池固液分离后再流入生化系统。从工艺流程图中可以看出,该法取活性炭吸附与生化作用两者结合之长,去两者各自之短,

实质上是活性污泥形式的活性炭吸附生物氧化法,单独用活性炭价格昂贵而单独用生物法虽经济但只适用于去除有机污染物。

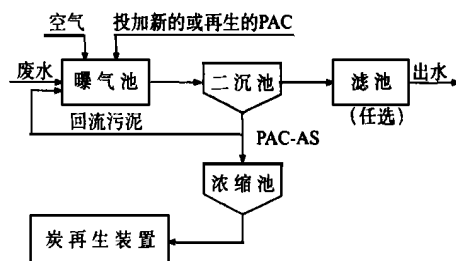


图 1 PACT 工艺流程

2.2 特点^[1~3]

投入 PAC 的 AS 系统有如下特点:1)改善了污泥沉淀性能,降低了 SVI,提高了二沉池固液分离能力;2)提高了不可降解 COD 或 TOC 的去除率,特别是能有效地去除纺织、造纸制浆和染料废水的色度和臭味,减少曝气池的发泡现象,这主要得益于粉末活性炭的吸附作用;3)改善污泥絮体的形成,这是由于活性炭与絮体结合后,絮体密度增大再加上活性炭的多孔性,絮体与之结合更充分;4)增加了无机物的去除率,增加了对重金属冲击负荷的适应性,炭吸附与金属络合的有机物,在含硫量较高时在碳表面形成硫化沉淀析出,重金属随生物絮体共沉析;5)降低了生物处理出水的毒性,减轻了出水对鱼类的

毒害;6)减少了对异养微生物或硝化微生物的抑制,有脱氮作用;7)降低了 VOCs 向气相的转移,在活性污泥系统中考虑 VOC 控制,PACT 工艺会有一定的效果;8)提高系统总的去除效率,大大改善出水水质,许多报导表明 PACT 法优于活性污泥法;9)便于污水厂的统一管理,以较低的投资提高污水厂的处理能力。

3 PACT 作用机理探讨^[4,5]

PACT 作用机理牵涉到复杂的吸附与生物降解同时进行的过程,至今尚未有定论,有深入研究的必要,目前主要有两种有代表性的理论。第一,以 Kalinske, Perrotti 和 Rodman 以及 Spetiel 为代表,认为微生物与粉末活性炭有相互加强的作用,PAC 的存在增大了固液接触面积,在活性炭表面吸附有微生物细胞、酶、有机物以及氧,所有这些都为微生物的新陈代谢提供良好的环境,微生物酶可以进入活性炭微孔,从而使已吸附的有机物降解,空出吸附位使活性炭得到生物再生,再生的 PAC 可以重新吸附新的有机物,这种由生物降解控制的炭吸附能力可得到大幅度提高,与单纯的吸附系统相比炭的吸附容量增大,结果对于生物难降解但能被吸附的物质和不能降解的物质以及代谢终产物 MEP (Metabolic End Product) 可通过这种 PAC 强化活性污泥工艺去除。在吸附—降解—再生—重吸附这种协同作用下有机污染物的去除率得以提高,最终出水水质大大改善。第二,以 Ehrhardt 和 Rehm, Craveiro 和 Malina 以及张晓健为代表,他们得出相反的结论,认为废水处理效果的改善是由于吸附与生物降解简单的结合,因为经过几次吸附循环之后,有机物去除呈下降趋势,表明 PAC 表面已饱和,这说明并不存在生物再生现象,他们认为胞外酶促反应在微孔中不能发生,因为酶分子大于活性炭孔径。

C. Bornhardt, J. E. Drewes^[6]等在用 PAC—AS 去除城市污水中有机卤素的试验中也没有观察到 PAC—活性污泥的加强作用以及活性炭的生物再生。

Ferhan Cecen^[7]处理牛皮纸浆漂白废水试验也证明有机物的去除只是吸附与生物降解的简单结合。

Frieda Orshansky 和 Nava Narkis^[8]分别在单独吸附、单独生化处理以及吸附与生化同时进行条件下研究了苯酚与苯胺的去除。试验表明:PAC 对苯酚、苯胺的最大吸附能力 (mg/gPAC) 基本相同,但苯胺的吸附能常数是苯酚的 5 倍,结果在 PACT 工

艺中 PAC 对苯酚和苯胺的去除起了不同的作用,PAC 加强了苯酚生物反应器中生物氧化和微生物的呼吸但明显地减少了苯胺生物反应器中生物氧化和微生物的呼吸,这是由于不能生物降解的苯胺大量地吸附在 PAC 表面但没有被降解。表明由于两者不同的吸附能,在 PACT 工艺中去除机理亦不同。对苯胺来讲其去除只是吸附和生物降解的简单结合。该试验可表明 PACT 工艺处理不同物质组成的废水其机理有所不同,PAC 能否生物再生与所去除的物质有关。

不论是活性炭吸附与生物降解相互加强,还是二者简单结合,不管是否存在 PAC 的生物再生,上述试验无一例外地证明 PACT 法优于单独的活性污泥法,这可以从以下几方面来解释:1)微生物氧化依赖于有机物的浓度,吸附增大了固定在炭粒表面的有机物浓度,并使反应进行的比较彻底;2)PAC 和活性污泥一起停留在曝气池中,相当于污泥龄的时间,难降解有机物有更多的机会被降解;3)由于炭吸附难降解有机物的同时吸附了微生物,从而延长了生物与有机物的接触时间而且 PAC 对细胞外酶的吸附也有利于微生物对有机物的降解。

4 PACT 去除有机优先污染物的动力学模型

最初对 PACT 的研究致力于 BOD、COD 去除率的提高,目前的努力集中于优先污染物的去除效果,特别是有机优先污染物去除动力学模型的研究。

(1) Jorge H. Garcia-Orozco, W. Wesdley Eckenfelder^[5]通过比较 4,6-二硝基甲酚(DNOC)在 AS 与 AS-PAC 工艺中的去除效果,在 AS 动力学模型基础上建立了 AS-PAC 动力学模型。大多数有机优先污染物生物降解缓慢但可以被活性炭吸附,在 PACT 系统中,其去除效率决定于生物降解速率和在 PAC 上的吸附程度以及空气吹脱。

$$Q(C_0 - C) = V(R_b + R_s + \dots) + QNX_i \quad (1)$$

$$\text{或 } R_b = [C_r - NX_i - t(R_s + \dots)] / t \quad (2)$$

式中, C_0 —进水优先污染物浓度;

C —出水优先污染物浓度;

$C_r = C_0 - C$;

N —炭吸附能力;

X_b —反应器中平均生物浓度;

X_i —粉末活性炭投加量;

R_b —生物降解速率;

t —水力停留时间;

K_b —生物降解速率常数。

由于该试验 DNOC 在低 Henry's 常数范围,空

气吹脱在 DNOC 去除中不起主要作用,所以(2)式可简化为

$$R_b = (C_r - NX_i) / t \quad (3)$$

而在活性污泥系统中生物降解遵循零级动力学,即

$$R_b = K_b X_b$$

因此

$$C_r = K_b X_b t + NX_i \quad (4)$$

$$\bar{N} = [C_r - K_b X_b t] / X_i \quad (5)$$

该模型需要在几种污泥龄情况下进行试验以便确定一些动力学系数。

(2) Gerald J. O'Brien^[9]建立了一个稳态模型来预测 PACT 污水处理厂连续出水中优先污染物的浓度,即

$$S_e = S_i / (1 + K_S \theta_N + K_B X \theta_N + K_A \theta_C C_C) \quad (6)$$

式中, S_i —优先污染物进水浓度;

S_e —优先污染物出水浓度;

K_S —空气吹脱动力学常数;

θ_C —污泥龄;

θ_N —水力停留时间;

C_C —进水 PAC 浓度;

K_B —生物降解速率常数;

X —曝气池中生物浓度;

K_A —由于 PAC 与 AS 的相互加强作用修正后吸附速率常数。

而对于间歇排放的出水中的优先污染物该模型并不适用,修正后为

$$S_{e2} = S_{e1} / (1 + K_S \theta_{N2} + K_B X_2 \theta_{N2} + K_A \theta_C C_C) \quad (7)$$

$$R_{2m} = 1 - S_{e2} / S_{e1} \quad (8)$$

式中,下角 2—二阶段 PACT 出流(第三级处理);

下角 1—第一阶段 PACT 出流(第二级处理);

m —从模型计算得出。

该修正后的模型可适用于二阶段 PACT 曝气池出水浓度预测,后来 O'Brien 和 Teather^[10]进一步改进模型,成功地预测了当进水浓度随时间变化时,出水中挥发性、半挥发性以及不挥发性化合物的浓度,动力学模型如下所示:

$$K_S SV + K_B SXV + K_A S_C SV = dF_S / dV \quad (9)$$

式中, F —空气吹脱流速;

V —曝气池容积;

X —曝气池生物浓度;

S —优先污染物浓度;

K_A —吸附速率常数;

S_C —曝气池中 PAC 浓度。

5 应用 PACT 工艺应注意的问题

1) PACT 将粉末活性炭投加于活性污泥曝气池,其排出的剩余污泥为 PAC—生物污泥,具有磨损性,对泵体、池体、二沉池刮泥机械以及污泥处置设备都有较高的耐磨要求,选择材料时要加以考虑。

2) 由于该工艺产生的污泥密度较高,所以二沉池刮泥机械以及污泥处置设备设计时要采用较高的扭矩矩限值。

3) 当投炭量较大时,出水中含有较高的 PAC 颗粒,为改善这种情况,建议最好采用 SBR 系统或者加一个三级滤池,也可以用膜分离单元代替二沉池。

4) PACT 系统中 PAC 的吸附容量与通过间歇等温吸附试验所预测的数值有所不同,应进行连续流处理试验获得相关数据用于设计。

5) 因为 PAC 的吸附能力很强,如直接暴露于空气中则极易吸附周围环境中的物质,使吸附位被占 PAC 失效,所以在生产或试验中一定要注意密闭保存。

[参考文献]

- [1] 彭天杰等. 工业污染治理技术手册[M]. 四川科学技术出版社.
- [2] W W 埃肯费尔德著,姜文焯等编译. 工业废水活性污泥处理法[M]. 中国建筑工业出版社.
- [3] 肖志成. ...[J]. 上海环境科学,1998,7(11):38~39.
- [4] 申秀英等. ...[J]. 环境科学进展,1994,2(4):23~27.
- [5] Jorge H Garcia - Orozco. ...[J]. JWPCF. 1986,58(4):320~325.
- [6] C Bomhardt, J E Drewes, M Jekel. ...[J]. Wat. Sci. Tech., 1997,35(10):147~153.
- [7] Ferhan Cecen. ...[J]. Wat. Sci. Tech., 1994,30(3):183~192.
- [8] Frieda Orshansky and Nava Narkis. ...[J]. Wat. Res., 1997,31(3):391~398.
- [9] Gerald J o'Brien. ...[J]. Wat Environ Res., 1992,64(7):877~883.
- [10] Gerald J o'Brien and Eric W Teather. ...[J]. Wat. Environ. Res., 1995,67(6):935~942.

[作者简介] 第一作者蓝梅,女,1969年生,河北建筑科技学院讲师,现为同济大学在职硕士研究生。

收稿日期:1999-06-11