（环境工程与生态工程）

循环载体生物滤池——生物过滤新工艺

朱文亭 顾 平 邢国平

（天津大学，天津 300072）

摘要 循环载体生物过滤工艺融三相流化、悬浮曝气、移动接触等几种不同工艺于一体，具有独特的工作原理和工艺特征。动态实验结果表明，循环载体生物过滤工艺容积负荷高，耐冲击负荷能力强，处理效果好，是一种比较理想的生物处理工艺。

关键词 生物过滤 载体 循环

1 生物过滤技术的历史与发展

随着工农业生产的发展和人民生活水平的不断提高，人们在创造世界、满足自我的同时，也在不断地破坏着这个世界。人们的生产、生活过程中产生的废水、废气、废渣和其它有害物质正在污染着人们赖以生存的生态环境，而且有愈演愈烈的发展趋势。为了有效地控制污染，改善环境，人们一直在坚持不懈地研究、探索各种治理污染的方法和途径。

十九世纪末，德国人在研究土壤净化污水的过滤田基础上，创造了生物过滤法，并在十九世纪末将其应用于生产。1914年，又在水体自净的基础上创造出了活性污泥法。从那时起，作为生物处理法两大基本类型的生物过滤法和活性污泥法，在生产实践中不断地完善、更新，被广泛地用于生活和工业污水处理领域。

二十世纪初，建造了较多的生物滤池。当时，生物过滤法和活性污泥法可谓并驾齐驱。但是，由于生物过滤法的体积负荷和BOD去除率都较活性污泥法低，且存在滤料堵塞和环境卫生条件较差等缺点，因此，在二十世纪中叶，有逐渐被活性污泥法取代的趋势。但到了60年代，由于新型合成材料的出现，生物过滤法又获得了新的发展。近年来，塔式生物滤池、转盘式生物滤池（生物转盘）、浸没式生物滤池（生物接触氧化）、生物流化床等生物过滤新工艺（生物膜法）得到了比较多的研究和应用。

流化床本是用于化工领域的一项工艺技术，从70年代初期开始，一些国家将这一技术应用于污水生物处理领域，开展了多方面的科学研究工作，使得生物过滤工艺取得突破性的进展。

国内外的实验结果表明，生物流化床是一种比较理想的生物过滤工艺，具有容积负荷高、处理效果好、效率高、占地少以及投资省等特点[1～4]。

但是，由于工艺要求载体处于流化状态，需耗费较大的能量。此外，该工艺对操作管理水平要求较高，因而限制了该工艺在生产实践中的应用和推广。

2 循环载体生物过滤器

本文提出的循环载体生物过滤工艺，旨在寻求一种介于固定床和流化床生物过滤之间的新工艺。主要创新之处：

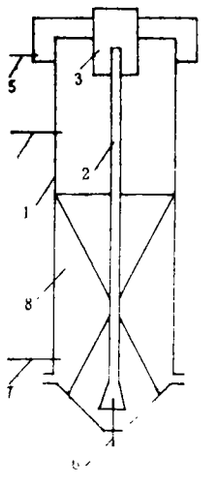
（1）在滤池内设空气提升装置，使载体在池内不断循环，滤床主体呈移动床状态。

（2）通过调整载体循环速度，有效控制生物膜的过度增殖，使生物膜保持最大活性，并避免滤床堵塞。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（3）滤床底部设辅助曝气装置，以提高充氧效率，降低动力消耗。

自行设计、加工的循环载体生物过滤器的动态模拟实验装置见图1。



1.池体 2.中心提升管 3.分离套筒 4.进水管
5.出水管 6.提升空气管 7.辅助曝气管 8.载体
图1 循环载体生物滤池示意图

3 循环载体生物过滤的工艺特征

与其他生物滤池一样，循环载体生物滤池也采用颗粒材料作为生物载体，经过一定条件下的培养，使载体表面附着生成一层生物薄膜，然后向池中不断通入空气和污水并创造良好的混合接触条件，栖息在载体表面上的微生物不断摄取水中的氧和有机物，从而达到净化污水的目的。

3.1 水力流动特征

污水生物处理构筑物中的流态，一般分为两类，即推流型和完全混合型，但大多数处理构筑物中水的流态介于两者之间。

如上所述，循环载体生物过滤工艺是由几种不同的工艺过程组成，如：三相流化、悬浮载体、移动接触等。因此，该工艺的水流状态也是比较复杂的。

由于中心提升管的提升作用，池内载体被不断提升，形成循环。与此同时，池内污水也被不断提升，形成循环，且循环水量远大于进、出水量。因此，当原水进入池内时，很快与循环水混合而被稀释，且由于底部辅助曝气的空气搅拌作用，也在一定程度上加速了污水的稀释混合。

示踪实验的结果表明：循环载体生物滤池内的污水流态接近完全混合型，其接近完全混合型的程度，取决于池内污水的循环速度和辅助曝气的强度。

3.2 接触反应特征

本工艺采用了颗粒材料作为生物载体，使得单位池积内可以拥有较高的生物膜量和较大的接触面积。但更重要的是创造了良好的接触反应条件，使池内所有生物膜表面都能发挥应有的效能。

3.2.1 由于设置了中心提升管，使载体在池内循环移动而不断重复整个反应过程，所有载体在池内的地位和作用均等，所有生物膜表面都是同一而有效的。

3.2.2 由于提升过程中的脱膜作用，载体表面生物膜的厚度得到控制，使得所有生物膜表面始终保持良好的活性，并且避免了因生物膜过厚产生的厌氧和堵塞现象。

3.2.3 载体与污水在整个循环过程中始终处于相对运动状态，强化了传质作用。污水一进入滤池，即与快速回落的载体进行逆向接触。当污水到达移动接触区时，由于载体与污水的循环速度不同，污水以较高的流速穿过载体间的孔隙，并与载体表面的生物膜进行接触反应。当污水进入中心提升管与载体共同被流化提升时，由于三相流的剧烈紊动作用，使得载体与污水始终处于良好的混合接触状态。

3.3 曝气充氧特征

在三相流化床工艺中，中心提升管曝气既要满足载体流化提升的需要，又要满足生化反应对氧的需求。当工艺条件发生变化时，这种单一的曝气方式很难同时兼顾两种需求。此外，中心提升管内流速很高，且空气常以柱塞流状态出现。从曝气的角度来看，

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

空气的利用率较低，动力消耗较大。

在本工艺中，由于载体填充率较高，载体循环周期较长，在同一循环周期内，载体在移动接触区停留时间相对较长。当有机负荷较高时，移动接触区将会出现供氧不足。若一味加大提升曝气量，提升管内三相流速过高，不但会破坏载体表面生物膜，且充氧效率低，能耗增大。因此，设置了提升曝气和辅助曝气两种曝气方式。提升曝气的作用主要是使载体循环移动并控制生物膜的过度增长，从而避免生物堵塞现象的发生。设在滤床底部的辅助曝气装置的作用主要是为生物载体供氧，以弥补提升曝气充氧的不足。

实验结果表明，滤床底部曝气充氧可提高充氧效率，降低能耗。其主要原因如下：

1）气泡撞击增加了气水接触面积。

气泡从孔口释放出后，在以1000m/h的速度上升过程中，除受到紊动水流的剪切外，还由于在上升过程中势能转化为动能，利用其自身动能撞击载体表面，使气泡破裂，直径进一步减小，相应增大了接触面积，因而增大了氧的转移效率。

2）水流紊动加速了氧的转移。

气泡在载体孔隙内顶托水流，迫使孔隙内的水流迅速循环，相互混合，使气泡在上升过程中接触到更多的水流，因而增加了氧的转移。同时，水流紊动的加强，也有利于气液两相界面的更新，促进了氧的转移。

4 实验结果与讨论

循环载体生物过滤工艺的技术关键是如何实现正常运转中载体的循环移动，因此，必须通过动态实验模拟实际生产，在动态条件下观察设备的运转情况并及时进行调整，从而获得满意可靠的设计运行参数。

采用人工合成废水，进行了为期四个月的动态模拟实验，主要考察循环载体生物过滤工艺对有机物的去除效果。

用市售工业葡萄糖作为碳源，加入尿素($NH_3 \cdot CO \cdot NH_2$)和磷酸氢钾(K_2HPO_4)作为氮、磷营养物质，按BOD：N：P＝100：5：1配制。这种人工合成废水的BOD_5/COD约为0.74，pH值为6～7。

4.1 循环载体生物滤池的起动运行

生物过滤工艺成败的关键是生物膜，因此，工艺运行的第一步就是生物膜的培养。为了加快挂膜速度，缩短起动时间，本次实验采用了接种培养挂膜方式。

取纪庄子污水处理厂曝气池混合液5L，静止沉淀后，将上清液注入滤池，然后，用配制的模拟污水（COD约500mg/l）将滤池注满，向池内通入空气进行曝气并使载体循环。闷曝8h后，停止曝气并静沉30min，将池内约2/3的水放出，然后重复上述步骤。如此反复进行两天后，载体表面凹处已可见附着斑斑点点的生物膜。

第三天开始正式通水，进行动态模拟实验，同时，定时检测进、出水COD变化并观察载体表面生物膜附着生长情况。

实验结果表明，采用接种培养挂膜方式，循环载体生物滤池起动时间较短，通水运行第五天，COD去除率即可达到80％以上。在此以后，虽然曾出现COD900mg/l以上的冲击负荷，但COD去除率没有出现急剧下降。这说明培养挂膜约一周后，生物膜即已基本成熟，可以投入正式运行。

4.2 动态运行实验

循环载体生物滤池投入正常运行后，进行了低负荷和高负荷两个阶段的动态模拟实验。在低负荷运行阶段，采用较低的进水浓度，较高的水力负荷；在高负荷运行阶段，采用较高的进水浓度，较低的水力负荷。

实验结果表明：循环载体生物过滤工艺容积负荷高，耐冲击负荷能力强，处理效果好，可用于不同浓度范围的有机污水处理，是一种较理想的生物处理工艺。为便于比较，将本工艺与淹没曝气式生物滤池、悬浮载体曝气工艺（投料曝气法）在实验运行中的主要技术参数列于表1。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 不同工艺主要运行参数比较*

项目	载体	载体填充率 (%)	水力负荷 ($m^3/m^2 \cdot d$)	水力停留时间 (min)	COD浓度 进水 (mg/l)	COD浓度 出水 (mg/l)	COD去除率 (%)	COD去除容积负荷 (kgCOD/$m^3 \cdot d$)	曝气强度 (气水比)
淹没曝气生物滤池	陶粒		13.48	78.6	509		90	6.28	10.7
悬浮载体曝气工艺	焦炭	15	23.6	35	442	62	85.9	12.7	40.6
循环载体生物过滤	陶粒	50	45.86	44.3	394	33	91.6	10.8	23.3
			30.57	66.4	1180	189	82.4	19.8	35

*表中所列数值均为算术平均值。

5 结论

5.1 循环载体生物过滤工艺是一项介于固定床生物过滤和流化床生物过滤之间的新工艺，融三相流化、悬浮曝气、移动接触等几种不同工艺于一体，具有独特的工作原理和工艺特征。

5.2 页岩烧结陶粒是一种较为理想的生物载体，这种颗粒材料比表面积大，机械强度高，表面粗糙多孔，有利于微生物附着生长。

5.3 为期四个月的模拟污水动态实验结果表明，循环载体生物过滤工艺容积负荷高，耐冲击负荷能力强，处理效果好，是一种比较理想的生物处理工艺。

参考文献

1 Cooper, P.F.and B.Atk nson (eds).Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater, EEllis Horwood Ltd, 1981

2 Leglise, J.P., Gilles, P., and Woreaud, H., A New Development in the Biological Aerated Filter Bed Technology 53rd WPCF Annual Conference, Las Vegas, Nevada, U.S.A, Oct. 1980

3 郑元景.生物膜法处理污水.中国建筑工业出版社，1982

4 龙腾锐.城市与工业废水处理—固定膜法的理论与应用.中国建筑工业出版社，1989

CIRCULATED CARRIER BIOLOGICAL FILTER — A NEW PROCESS OF BIOLOGICAL FILTRATION

Zhu Wenting Gu Ping Xing Guoping

(*Tianjin University, Tianjin* 300072)

Abstract The Circulated Carrier Biological Filter (CCBF) is a new process that incorporates several processes such as three-phase fluidised bed, suspended carrier aeration and movable carrier contactor in one body,has unique principle and process feature.The results of experiment demonstrate that CCBF is a ideal biological filtration process with high volume load, fairly strong ability for resisting impact load and good treatment effect.

Key words biological filter carrier circulate

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net