维普资讯 http://www.cqvip.com

第15卷第4期
Vol. 15 №4 1994

青岛建筑工程学院学报
Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering

生物陶粒反应器水源水处理工艺研究

李永秋（环境工程系）　王占生（清华大学）

摘　要　利用生物陶粒反应器对水源水生物预处理进行研究．试验研究了该反应器对水源水浊度、色度、有机物、氨氮等的去除效果；分析探讨了水头损失变化规律；分析比较了生物预处理与其它处理方法对水源水中总有机物（TOC）的去除．结果表明，生物陶粒反应器是一种有效的生物预处理设备，有着广阔的应用前景．

关键词　水源水，生物预处理，饮用水处理

中图分类号　TU991.2

前　言

目前，环境污染日趋严重，水体受到污染，给水水源水质也在恶化，水中难以去除的有机污染物质不断增多，传统的物理化学方法难以保证净水效果，并且给传统净水工艺的运行，操作、管理带来了很大困难．普遍采用的加大混凝剂投量和重氯氧化，尽管可以去除部分有机污染物质，但同时也增加了水中三卤甲烷（THM_4）等"三致"物质的含量[1]．因此，研究水源水的净化新工艺来改善饮用水水质，具有重要的现实意义．

1　试验方案的选择

本试验研究采用生物预处理方法，即在常规的物理化学方法处理工艺前增设生物处理装置——生物陶粒反应器，借助于该反应器内陶粒表面富集的大量微生物群体（生物膜）的新陈代谢作用，吸附利用水源水中的各种污染物质（以有机物为主），这样既改善了水的混凝沉淀性能，使后续常规工艺顺利运行，又减少了水中有机污染物质和三致物质（包括三卤甲烷）的前体物的含量，降低了致突活性，提高了出水水质．

2　试验材料及方法

2.1　试验装置

在试验装置（图1）的设计中，以生物预处理装置——生物陶粒反应器为主体，同时考虑与传统水处理工艺的连接，在生物陶粒反应器后设有加药池，快速混合池，反应池，沉淀池，砂滤柱以及活性炭吸附和氯化消毒等．

收稿日期：1994—01—17

饮用水　水处理

维普资讯 http://www.cqvip.com

试验设计运行参数如下:

(1)正常工艺流程的设计流量为140L/h;

(2)生物陶粒反应器直径为300mm,陶粒高度为2000mm,水力负荷为$2m^3/m^2 \cdot h$,水流空塔停留时间(EBCT)60min;

(3)混合池快速混合时间1—2min,搅拌桨转速200r/min;

(4)反应池反应时间20min,搅拌桨转速40r/min;

(5)硫酸铝投加量为15—20mg/l;

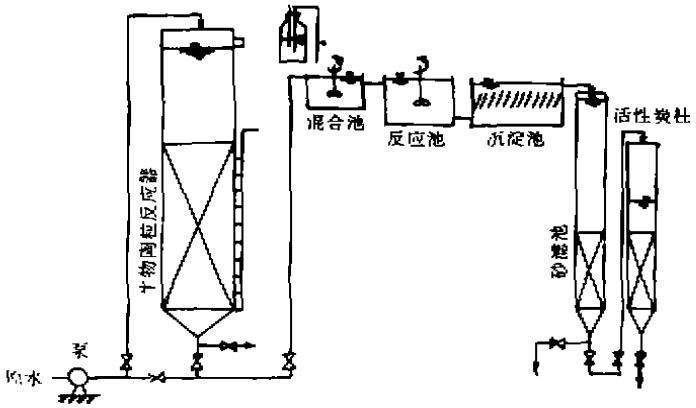

图1　生物陶粒反应器与生物预处理工艺

(6)砂滤柱直径200mm,高2000mm,滤速4.45m/h,砂层厚1000mm,粒径0.5—1.0mm;

(7)粒状活性炭吸附柱直径100mm,高2000mm,滤速为17.2m/h,粒状活性炭采用太原新华化工厂ZJ—15炭,总孔容积为$0.8cm^3/g$,比表面积$900m^2/g$.

2.2　生物陶粒

采用北京陶粒厂生产的陶粒作为反应器内的生物填料.该陶粒以天然页岩作为原料,经高温焙烧,膨胀而成的轻质多孔骨料.它具有质地坚硬,多孔质轻,不含对生物有害的重金属及其它有害物质,主要化学成份见表1.

表1　试验用陶粒的化学组成

化学成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	烧失量	其　它
含量(%)	61—66	19—24	4—9	0.5—1	1—2	/	5.0	/

陶粒特性的测试表明,陶粒具有作为饮用水处理中生物填料的良好物理、化学和水力特性见表2.

表2　陶粒物理、力学参数

参　数	L型陶粒(滤　料)	试验用陶粒(2—5mm)	备　注
松散容重 kg/m^3	550—900	720	
比　重	2.4—2.6	2.54	
视比重	1.5—2.0	1.175	水银求积仪法
总孔隙率(%)	74—78	75.6	$m_z=(1-r_0/r)\times100$
开孔孔隙率(%)	/	47.2	$m_k=(1-r_0/r_k)\times100$
闭孔孔隙率(%)	7—18	28.4	$m_b=(\frac{r_0}{r_k}-\frac{r_0}{r})\times100$
磨碎破损率(%)	2.25	/	连续反冲72h
盐酸可溶率(%)	<3	/	
强碱可溶率(%)	<2	/	
比表面积 m^2/g	0.5—1.8	3.99*	*氮气吸附法
筒压强度 Pa	/	6.12×10^6	

注:r_0为堆积比重,r_k为视比重,r为真比重.

维普资讯 http://www.cqvip.com

2.3 试验水质

试验用水为我国某大城市水库水源水，水质见表3.

表3 试验水质

项目 / 时间	温度（℃）	pH	色度（度）	浊度（度）	OC (mg/L)	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	NH_3-N (mg/L)
第一阶段	17—4	7—8	10—20	5—15	2.4—2.7	8—12	/	0.00—0.02
第二阶段	8—10	7—8	30—50	30—40	4.9—5.5	25—30	/	0.00—0.02
第三阶段	3—4	7—8	30—40	20—30	4.2—4.6	18—23	3—5	1.2—2.8
第四阶段	3—5	7—8	8—15	3—10	/	8—10	1—2	0.00—0.02

2.4 试验运行

首先对生物陶粒反应器进行挂膜. 为了加快反应器内生物膜的生长，采用水库底泥和预先富集在其它载体上的生物膜进行接种培养，挂膜运行一段时间后，生物陶粒反应器内出现生物膜，且出水中TOC含量低于进水，去除率稳定，则表明反应器挂膜完毕，然后进行现场试验.

3 试验结果及分析

3.1 浑浊度和色度去除效果

生物陶粒反应器对水源水浊度有较高的去除效率. 在进水浊度10—30度(NTU)时去除率大于85%. 见图2. 同时，对原水色度的去除率也在65%左右.

3.2 有机物去除效果

图3反映生物陶粒反应器对变化的进水有机物浓度和低温条件有机物的去除情况. 可以看出反应器达到稳态后，水温在15—20℃时COD去除率50%，随着水温的下降，COD去除率也有所降低，当水温降至4℃时，COD去除率为32%. 导致COD去除率下降的主要原因是由于陶粒上生长的生物膜对温度的适应性而引起的. 试验发现；稳态运行的生物陶粒反应器对进水有机物浓度骤然变化具有很好的适应性. 这一结果与McCarty等人提出的稳态生物膜保持出水中有机物有一个最小浓度S_{min}定义相符合[2].

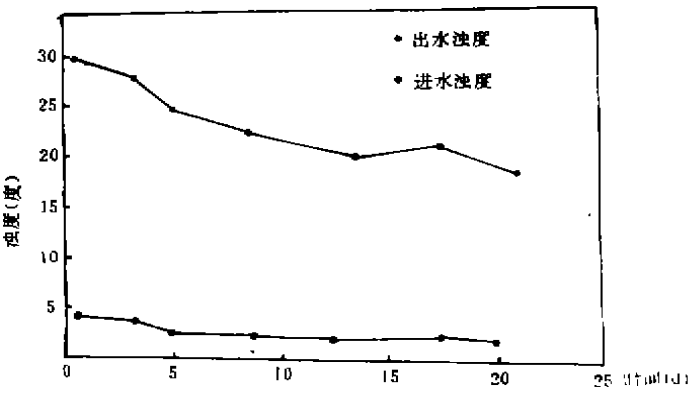

图2 生物陶粒反应器对水的浊度去除

维普资讯 http://www.cqvip.com

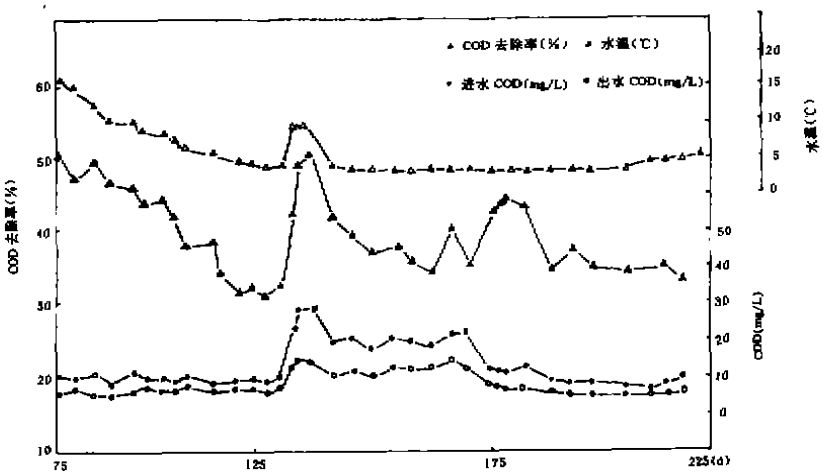

图 3　生物陶粒反应器有机物去除率随进水有机物浓度不同的变化

$$S_{min} = \frac{K_s b}{YK - b}$$

其中：K_s—— 莫诺半速增长系数，Y—— 细胞产率，K—— 基质的最大比利用速率，b —— 细菌自身氧化分解系数

3.3　水力负荷对有机物去除效果影响

水力负荷是反映生物陶粒反应器产水量的一个重要参数，同时它也会影响到出水水质. 不同水力负荷条件下有机物去除率见图 4. 可以看出，当进水水力负荷由 $1m^3/m^2 \cdot h$ 增加到 $4m^3/m^2 \cdot h$ 时，溶解性有机物(DOC)去除率变化很小；当水力负荷增大到 $8m^3/m^2 \cdot h$ 时，(DOC)的去除率明显下降. 这是因为较高的水力负荷减少了有机物在反应器内的停留时间，同时，较强的水流冲刷也对生物的吸附有机物作用产生不利影响.

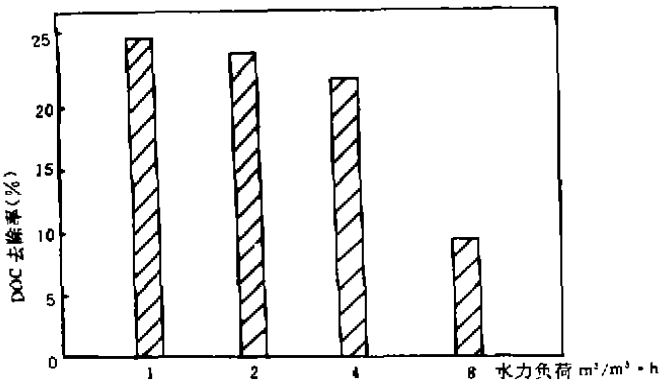

图 4　DOC 去除率与水力负荷的关系

3.4　水头损失变化规律

由于长时间运行，反应器内生物膜不断生长更新，生物膜表面和陶粒颗粒之间截留下的悬浮物以及生物膜对水中溶解性物质的絮凝作用，使生物陶粒间空隙变小，增大了反应器的水流阻力，因而水头损失的变化规律直接影响工艺运行和处理效果. 图 5

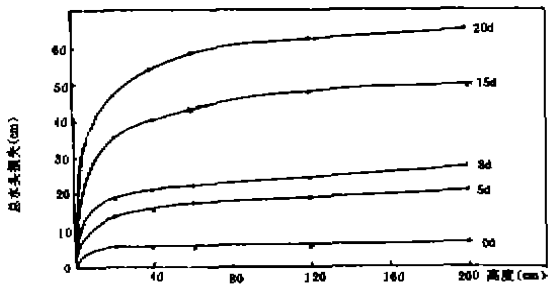

图 5　不同运行时间水头损失在不同高度的分布

维普资讯 http://www.cqvip.com

是不同运行时间水头损失在不同高度分布规律.不难看出,对于下向流运行方式,反应器的水头损失主要集中在反应器的进水端0—60cm处,占总水头损失的90%.水头损失沿水流方向增加的幅度逐渐减小;总水头损失的变化呈线性关系,将试验数据拟合求得水头损失随时间变化线性方程为:$H = 5.8 + 2.86t$ (H单位为cm,t为天).

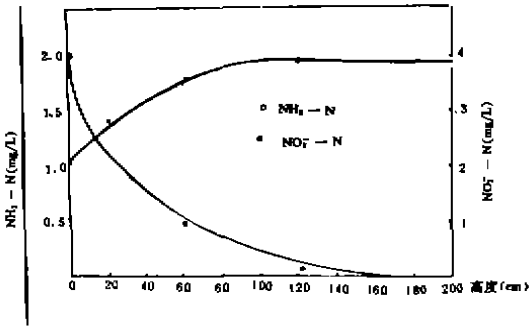

图6 生物陶粒反应器对NH_3—N的去除转化

3.5 氨氮的去除

生物陶粒反应器对氨氮有很好的去除作用,见图6.当进水氨氮为2.0mg/L时,在水力负荷为$2m^3/m^2 \cdot h$条件下,氨氮的去除率大于99%,出水NH_3—N小于0.02mg/L.这一试验结果表明,保持一定水力负荷可将NH_3—N以及NO_2^-—N完全转化成NH_3^-—N,即消除氨氮污染.

NH_3—N的硝化过程分为二个阶段,第一阶段是NH_3—N转化为NO_2^-—N即:

$$NH_4^+ + \frac{3}{2}O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+ - 66.5Kcal$$

起作用的微生物为亚硝化细菌.第二阶段是NO_2^-进一步氧化为NO_3^-即:

$$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow NO_3^- - 17.5Kcal$$

起作用的微生物为硝化细菌.一般认为由NH_3—N转化为NO_2^-的过程是控制NH_3—N转化为NO_3^-—N的关键一步.

Yoshioka在对亚硝化细菌的研究中,对不同温度条件下该细菌的生长参数进行测定[3](见表4).根据稳定生物膜的基质最低能度$S_{min} = K_s b/(YK - b)$可以计算出不同温度条件下,反应器可以达到出水中NH_3—N的最低浓度为:5℃:0.029mg/L;10℃:0.053mg/L;15℃:0.096mg/L;20℃:0.17mg/L;25℃:0.30mg/L

表4 不同温度下亚硝化细菌的生长参数

参数	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃
莫诺半速生长系数(Ks)	0.18	0.32	0.57	1.00	0.50
细胞产率(Y)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
基质最大比利用速率(K)	0.96	1.3	1.7	2.3	3.1
细菌自身氧化分解系数(b)	0.045	0.060	0.082	0.11	0.15

试验结果与理论计算相吻合.

3.6 生物预处理和其它不同处理方法对有机物去除效果

图7是生物预处理和其它不同处理工艺对有机物(以TOC计)去除效果比较.水源水TOC为3.89mg/L时,经生物预处理后TOC去除30%,再经混凝,沉淀,过滤处理,总TOC去除率为35.7%,再经活性炭吸附,最终出水TOC为2.22mg/L,总去除率为42.8%.未经生物预处理的水源经混凝沉淀、过滤后TOC的去除率为21.8%,再经活性炭吸附出水TOC为2.5mg/L,总

维普资讯 http://www.cqvip.com

去除率为35.7%.因此,单独采用生物预处理工艺,对水源水中总有机物TOC的去除效果优于传统的混凝、沉淀、过滤工艺.同样,在活性炭吸附前采用生物预处理也可以提高有机物的去除率.

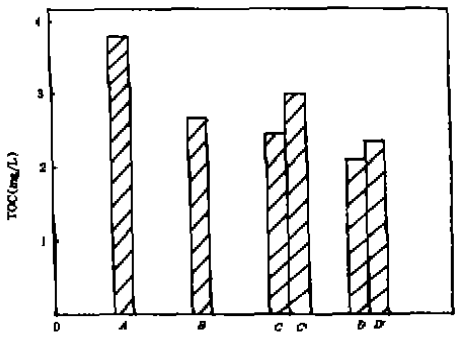

图7　不同处理方法对水中有机物的去除作用

A:原水;B:生物预处理;C:生物预处理后经传统工艺处理;
C':传统处理工艺处理;
D:生物预处理经传统工艺经活性炭吸附;
D':传统工艺处理后经活性炭吸附

4 结　论

(1)生物陶粒反应器对水源水中的浊度和色度有较高的去除率,试验条件下浊度和色度的去除率分别为85%和65%.

(2)对水源中低浓度有机物保持较好的去除效果.在水力负荷不大于$4m^3/m^2 \cdot h$时,COD去除率为32—35%.

(3)生物陶粒反应器运行过程中,水头损失主要集中于进水端0—20cm处,因而反冲洗过程应主要考虑进水端.

(4)反应器对水源水中氨氮具有较完全去除作用,这方面是传统处理工艺所不具有的.生物预处理对水源水中总有机炭的去除效率高于传统的混凝,沉淀、过滤.TOC去除率分别为30.2%和21.8%.

参 考 文 献

1 Bouwer E J,Crowe P B. Biological processes in drinking water treatment. J. AWWA.1988.80(9):82

2 McCarty P L et al. Trace organics in ground—water. Environ science Technol.1981.(15):40

3 Kobayshi H,Rittmann B E. Micribial Removal of Hazardous organic compounds. Environ Sci Technol.1982.(16):170

A Study of the Bio—ceramic Media Reactor in Source Water Treatment Processes

Li Yongqiu
(Dept. of Environmental Engineering,QIAE)
Wang Zhansheng
(Tsinghua University)

Abstract　By means of a bio—ceramic media reactor,the biological pretreatment of micro pollutants in source water was studied. The removal of NH_3—N, turbidity,colourity,and organic matter were tested. The results show that the bio—ceramic reactor is an efficient biological pretreatment process,and is promising in drinking water treatment.

Key Words　source water,biological pretreatment,drinking water treatment

作者简介　李永秋,男,30岁,副教授