第17卷第1期 环 境 科 学 Vol. 17, No. 1
1996年2月 ENVIRONMENTAL SCIENCE Feb., 1996

低温低浊微污染水源水的生物净化技术研究

胡江泳 方振东 王占生

(清华大学环境工程系，北京 100084)

摘要 针对低温低浊污染水源，采用生物预处理的手段进行现场试验研究。结果发现：以陶粒为载体的生物预处理工艺，能去除水中有机物(OC或COD)20%—30%，SS 60%—70%，氨氮80%。低温时去除率受到一定影响，但仍有一定的去除有机物及氨氮的能力。水库水的低浊度和有机物含量较多的性质有利于生物预处理工艺对水中有机污染物的控制。

关键词 生物预处理，陶粒，载体，微污染水源水。

自80年代以来，微污染水源水的净化问题受到人们的普遍关注，这主要是由于水中存在的及在水处理过程中衍变、产生的有机污染物均将对人体的健康构成一定的威胁。生物预处理的经济、简便、有效的优点，使之成为处理微污染水源水的强有力的手段[1]。

山西省大同市郊的册田水库是一类典型的微污染水源水，水中挥发酚、非离子氨、COD、石油类等项目超标，有迹象表明水库水质受到较严重的工业污染。因此，为改善饮用水水质，去除水源水中的有机污染物，采用生物预处理的手段进行进一步的试验研究十分必要。

1 试验设备及方法

1.1 试验水质

试验期间水质情况见表1。从表1中看出，水库水的特点在于常年低温低浊以及水中有机物较多。

1.2 试验设备及分析测试项目

采用以生物陶粒为填料的生物接触氧化装置，进行小试及中试的现场试验。

分析测试项目有温度、pH值、浊度、DO、COD、OC、氨氮、F^-等。均按国家标准分析方法进行。

表1 试验期间册田水库水质情况(1993-09—1994-06)

分析项目	分析结果
水温(℃)	0.5—19
色度(度)	7—15
氨氮(mg/L)	0.007—1.171
OC(mg/L)	3.12—9.54
DO(mg/L)	6.63—10.32
浊度(mg/L)	2.0—10.0
挥发酚(mg/L)	<0.002—0.0163
石油类(mg/L)	0.3—1.8
BOD(mg/L)	1.28—2.42

2 生物陶粒反应器的处理效果

2.1 反应器(小试)对有机物的去除

图1、2为反应器对COD及OC的去除结果。在试验期间水温为0.5—19℃，水力停留时间为25—60 min，气水比为1∶1，原水水质较稳定，进水COD为10—30 mg/L，进水OC为3—8 mg/L。图1、2表明，在水温<3℃时，COD的去除率为22.8%，OC的去除率为11.4%；在水温为3—18℃时，COD的去除率为26.2%，OC的去除率为20%左右，去除率有所升高。

2.2 反应器(小试)对氨氮的去除效果

收稿日期：1995-04-22

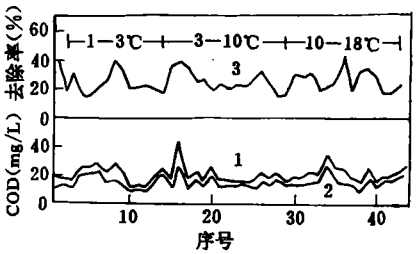

图 1　生物陶粒对 COD 的去除效果
1. 进水　2. 出水　3. 去除率

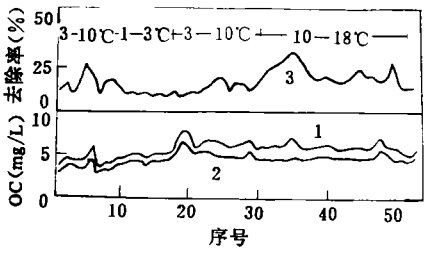

图 2　生物陶粒对 OC 的去除效果
1. 进水　2. 出水　3. 去除率

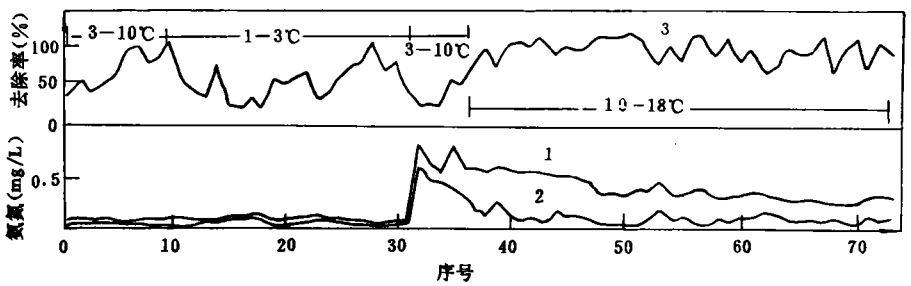

图 3　生物陶粒对氨氮的去除效果
1. 进水　2. 出水　3. 去除率

图 3 为运行期间生物陶粒反应器进出水氨氮及其去除率的情况。其中原水氨氮的浓度变化较大(0.1—1.60 mg/L)，反应器出水的氨氮浓度也有一定波动。在 3—10℃去除率为 56.9%；在 10—19℃时，去除率基本稳定在 80%左右，即使温度极低(0.5—2.0℃)生物陶粒仍具有较高的硝化能力，其硝化能力稳定在 50%左右。

总之，生物陶粒对氨氮基本维持 80%的去除率；随水温的升高，进水氨氮的降低，出水氨氮浓度基本维持在同一水平。生物陶粒反应器良好硝化效果的原因在于：(1) 试验中生物陶粒反应器的出水溶解氧(DO)水平大于 2.0 mg/L，完全满足硝化过程中自养菌对 DO 的需求；(2) 生物陶粒工艺具有泥龄较长的特性，利于硝化细菌的积累、富集，从而提高了生物陶粒对氨氮的降解能力；(3) 进水有机物浓度较低，抑制了异养微生物的生长，从而使属于严格自氧型的硝化细菌在与异养菌的竞争中占据有利地位，有利于硝化细菌的生长、增强了生物陶粒的硝化能力。

2.3　生物陶粒反应器(小试)对 SS 的去除效果

图 4 为运行期间进出水 SS 及其去除率。

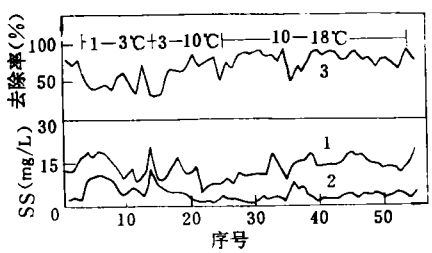

图 4　生物陶粒对 SS 的去除效果
1. 进水　2. 出水　3. 去除率

试验期间，原水 SS 为 7—23 mg/L，去除率为 70%—80%，低温下仍有 40%—50%的稳定去除效果。生物陶粒去除 SS 的特点为：(1) 对 SS 的去除率基本维待 60%—90%，低温时受一定影响，但仍有 40%—50%的去除率；(2) 出水 SS 基本稳定在 5.0 mg/L 以下；(3) 在进水 SS 升高的情况下去除率也随之增加，表明生物陶粒有较强的抗冲击负荷的能力。

册田水库水是低浊水，常年水中的浊度不

超过10度，因此，生物陶粒对SS的去除主要依靠粒状填料的接触凝聚作用和生物絮凝作用。在陶粒表面有生物膜，在陶粒间隙中存在一些脱落下来的生物絮体以及原水中存在的生物体，这使反应器内滤料级配更加密实，而且，具有良好活性的生物絮体也有吸附、网捕、降解有机物的能力。所以，生物陶粒才能具有对低浊度水中悬浮及胶体状颗粒物的良好的截留作用。

2.4 生物陶粒反应器(中试)的稳态运行结果

试验中同时对中试生物陶粒反应器进行了分析监测，以考察其对有机物、氨氮、SS的去除效果。结果表明，其对COD的平均去除率达25.4%，OC的平均去除率为15.2%，氨氮的平均去除率为58.7%，SS的平均去除率为51%—68.5%。

中试生物陶粒反应器不仅规模大，流量大(约50 m^3/d)，而且在工艺条件的控制上不如小试方便易行，另外，其填料高度比小试试验有所降低，但从上述试验结果来看，中试生物陶粒反应器在运行期间仍有良好的控制水中有机物、氨氮、SS的能力，这主要是由于：(1) 生物陶粒的生物降解及生物絮凝作用，主要集中在上层80 cm内的范围，而中、下层陶粒的作用甚微，因此，中试生物陶粒反应器中的填料(1.2 m)虽少于小试的填料(1.8 m)，仍可保障出水水质；(2) 中试生物陶粒反应器布气均匀，有助于生物膜的更新换代，保证了生物膜具有去除有机物、氨氮的高效率；(3) 中试生物陶粒反应器的反冲洗彻底，能防止生物膜表面过分老化，从而保证了生物膜的较强的生物活性。

3 生物陶粒反应器处理效果的影响因素探讨

3.1 低温状态下生物陶粒工艺性能的研究

水库水常年处于低温状态，试验期间最低水温达0.5℃，水温低于10℃的时间长达6个月。大量的研究表明在接近0℃的温度下，微生物很难维持其基本的生命活性，而有关生物氧化工艺的极端低温状态性能方面的研究还十分少见。因此，在试验中突出考察了极端低温运行状态下的工艺情况，为该工艺的实际运行提供了可信的数据。

3.1.1 低温对有机物去除效果的影响

从图2中看出，低温状态下生物陶粒(小试)进水OC浓度为3.60—5.22 mg/L，OC的去除率平均为11.4%；而当温度为3—10℃时，虽然进水OC变化不大，但其去除率已上升到15%；温度为10—18℃时，去除率进一步提高。这表明在极端低温的条件下，虽然在反应器中某些种属的微生物仍能生长，且保持一定活性，但大多数微生物的活性会受到强烈抑制，从而影响了生物陶粒降解有机物的能力。

3.1.2 低温对氨氮去除效果的影响

在温度<3℃时，生物陶粒(小试)进水氨氮为0.09—0.293 mg/L，出水氨氮为0—0.194 mg/L，平均去除率为53.1%，结果表明在低温下虽然生物膜中硝化细菌的活性受到一定抑制，但生物陶粒工艺仍具有一定的硝化能力。这一方面是由于粗糙的陶粒表面有利于硝化细菌的生长、固定，并获得较高的硝化细菌的数量；另一方面是由于硝化细菌自身氧化率较低，能在低温下利用较少的能量进行繁殖和生长，所以仍具有一定的硝化活性。

3.1.3 低温对SS去除效果的影响

因水温低、水的粘度大、pH值低，絮凝、沉淀、过滤效果很差，传统工艺出水SS达不到要求[2]。低温运行时，生物陶粒(小试)进水SS为8.82—19.8 mg/L，出水SS为3.08—13.44 mg/L，平均去除率为67%，这说明低温下生物陶粒中仍有生物量较高的固定生物膜，以及活性较强的存在于陶粒间隙的生物絮体，能发挥一定的吸附、凝聚作用，达到良好的截留效果。

3.2 低浊水质对生物陶粒工艺性能影响

实验发现出水SS基本保持在5 mg/L以下。这样，生物陶粒出水完全可以不经过混凝、沉淀而直接进入砂滤，仅在砂滤前投加少量的混凝剂。

试验结果表明，砂滤最终出水的SS为3 mg/L以下。从这一试验结果来看，采用生物陶粒工艺处理这类低浊度水是十分有利的。

(下转第59页)

型对铝的溶出有一定关系。

2.3 铝的溶出与总铝

不同类型土壤溶出铝的各种形态占总 Al 的百分率变化较大(参见表 2)。土壤溶出的 Al^{3+}，$Al(OH)^{2+}$，$Al(OH)_2^+$ 含量占总 Al 的比例很小。各浸提液溶出的 Al 量(μg/g)与土壤总 Al(%)之间的相关系数列于表 3。结果说明土壤溶出 Al 量与总 Al 量有一定关系，其中用 0.5 mol/L NaOH 浸提液溶出 Al 量与土壤总 Al 有较显著相关性。

表 3　土壤溶出 Al 量与总 Al 量关系

浸提液	相关系数 (R)	显著性水平 (α)
1 mol/L NH_4Ac	0.6220	0.1—0.05
0.5 mol/L NaOH	0.9074	<0.01
1 mol/L KCl+1 mol/L NH_4Ac	0.6190	0.1—0.05
4 种浸提液	0.6835	0.1—0.05

2.4 铝的溶出与有机质含量

土壤中有机质含量不同，铝的溶出量也不同。在多数情况下，有机质含量较多，4 种土壤浸提液溶出的铝量普遍较高。土壤有机质同溶出铝形成的络合物与酸度条件有关。当 pH 值为 4.5—5.0 时，有机质中的腐殖酸能络合大量铝，但是，当酸度进一步增加时，络合铝的可溶性与流动性会降低[2]。因此，土壤中有机质含量与铝的溶出量有一定关系。但同时还受酸度等因素影响。

参　考　文　献

1　Wright R J, Commun. In Soil Sci. Plant Anal.. 1989, **20** (15—16): 1479

2　庞叔薇等。环境化学。1986, **5**(3): 68

3　马惠昌等。环境化学。1992, **11**(3): 48

3　刘厚田，田仁生。环境科学学报。1992, **12**(3): 297

(上接第 56 页)

3.3 有机物含量变化对工艺性能的影响

水库水的低浊度性质决定了水中有机物质主要以胶体及溶解状态存在，而水中悬浮的有机颗粒相对较少，这对于生物陶粒工艺是有利的。进水浊度低可以延长生物陶粒的运行周期，避免生物膜处于厌氧状态，保证生物活性；而且，水中大量的溶解性有机物可以很容易地被水相传输，使生物膜很快地吸收和降解，因此生物陶粒工艺才能在低温及常温下保持较好的有机物去除率。

从图 1、2 中可以看出，当进水中的 COD、OC 浓度增加时，生物陶粒工艺的出水 COD、OC 含量也随着增加，去除率出现一个短暂的陡升，这说明该对水中有机负荷的增加有一定的承受能力，但这种能力是有限的，出水中的有机物浓度的增加预示着工艺性能的减弱。

4　结论

(1) 以陶粒为载体的生物预处理工艺，在 RHT 为 20 min，水气比为 1∶1，水力负荷为 4—5 $m^3/(m^2 \cdot h)$条件下，常温可去除 COD 26.2%，OC 20%，氨氮 80%，SS 60%—70%，温度<3℃时可去除 COD 20%，OC 11.4%，氨氮 50%，SS40%左右，低温时去除率受到一定影响。

(2) 水库水的低浊度和有机物含量较多的性质对于生物预处理是十分有利的。不仅生物预处理工艺处理水中有机物的去除效率得以提高，而且还可以节省混凝剂，简化给水处理工艺，达到低能耗高效率的目的。

(3) 对于册田水库这类低温低浊微污染水源，生物预处理技术是可行的，因此针对原有的传统工艺，结合生物预处理工艺来控制水中有机污染物是今后饮用水处理的一个很有前途的发展方向。

参　考　文　献

1　严熙世，许京骐。给水排水新技术。北京：中国建筑工业出版社，1988：85—94

2　陈培康等。给水净化新工艺。北京：学术书刊出版社，1990：189—194

protection. In addition, the environmental drag were used to explain the model's meaning as well as to discuss the measurement of the environmental drag.

Key words: social rate of return, private rate of return, elasticity of elasticity, environmental discount rate, environmental investment, environmenal improvement, environmental drag.

The Growth and Purification Function of *Eichhornia crassipes* Solms in Oil-refinery Wastewater. Tang Shuyu et al. (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(1), 1996, pp. 44—46

The growth of *Eichhornia crassipes* Solms in oil-refinery wastewater has been described in this paper. An influence of COD, a comprehensive index of the pollultant concentration in the wastewater, on the growth of *Eichhornia crassipes* Solms was quantitatively studied. It was found that an optimum working condition for treating oil-refinery wastewater by *Eichhornia crassipes* Solms eco-engineering is established as follows: 65 mg/L<[COD]<131 mg/L; and 262. 6 mg/L of COD at effective critical point.

Key words: *Eichhornia crassipes*, oil-refinery wastewater, purification.

Study on Method of Sister Chromatid Exchange in *Vicia faba* to Detect Environment Mutagen. Kong Zhiming et al. (Dept. of Environ. Sci. and Eng., Nanjing University, Nanjing 210093): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(1), 1996, pp. 47—49

The experimental conditions of the Brdu-Feulgen method of SCE in *Vicia faba* root which include the content of Brdu, labelling time of Brdu, the impacts on SCE of the content of hydrochloric acid and time and temperatrue for hydrolysis were studied and discussed in this paper. The best experiment conditions and procedure, which overcome the short-comings of FPG method that is complicated in procedure and, hence, difficult to be popularized, were obtained. In addition, such method was compared with other genotoxicology method in order to probe into the possibility of utilizing such technology to detect environment mutagen.

Key words: *Vicia faba*, SCE, Brdu-Feulgen method.

A Pulse-feed Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. Su Yumin et al. (Dep. of Environ. Eng., Taiyuan Univeristy of Technology, Taiyuan 030024): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(1), 1996, pp. 50—53

The key parts of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Ractor are gas-solids separator and feed system. The goals of this research, in which a conventional continuous feed system was replaced by an intermittent pulse-feed one, are to provide gently hydraulic mixing, to promote hydraulic selection, and to improve the contact between substrate and microorganisms. Pulse-feed method can raise the orgainc load rate as high as 27. 5 gCOD/(L. d), reduce HRT to nearly 3 hrs, and quickly develop granulated sludge in 47 days. It can not cause shock load and intermediates accumulation, as every pulse only releases a small amount of wastewater (1/56 reactor volume), which can not raise the substrate concentration in whole reactor. The pulse-feed also can not cause sever wash-out of sludge, because pulse-feed mi-xing can effectively separate sludge flocs and entrapped gas bubbles, and hence improve sludge settleability. The advantages of enrichment of *methanosarcina* species in the process of granulation are also discussed. At high load rate, *methanosarcina* species do appear in clumps on the granules.

Key words: anaerobic digestion, UASB, pulse-feed, mixing, granulation, *methanosarcina* species.

Study on Biological Pretreatment Method-bio-ceramic Reactor Treating Micro-pollution Source Water at Low Temperature and Low Turbidity. Hu Jiangyong et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(1), 1996, pp. 54—56

One of biological pretreatment methods-bio-ceramic reactor (BCR) was used to treat a typical source water with micro-pollution at low temperature and low turbidity. By means of in-situ experiments with the bio-ceramic reactor, it was found that: the organic matter (OC or COD), ammonia, SS in the source water could be removed about 20%—30%, 60%—70% and 80%, respectively. Removl efficiency could be reduced at low temperature. Low turbidity and high concentration of organics in the source water would be benifical to BCR. In general, BCR would be a powerful way to purificate this kind of source water.

Key words: micro-pollution, source water, low temperature, low turbidity, organics, bio-ceramic pretreatment process.

Studies on the Leaching and Species of Aluminum in Soil. Huang Yanchu and Qu Changling (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(1), 1996, pp. 57—59

The leaching and chemical forms of aluminum in soil by sequential fraction procedure were studied. Solutions used sequentially to extract Al are inorder of 1 mol/L KCl, 1 mol/L NH_4Ac, 1 mol/L HCl and 0. 5 mol/L NaOH. The spectrophotometric determination of leaching Al was performed with Eriochrom Cyamine RC. It has been found that the type of soil and the amounts of organic materials and total Al in soil have a siginificant effect on the amount of leaching Al. A certain amount of exchangeable Al can be leached from acid soil with 1 mol/L KCl extractant, however, it can not be leached from alkaline soil. The leaching Al extracted with 0. 5 mol/L NaOH is correlated at a high level of siginficance with the total Al in soil.

Key words: soil, leaching aluminum, chemical form.

Efficiency of Fluidized Biofilm Method for Treating Phenolic Wastewater. Yin Jun et al. (Jilin Architechtural and Civil Eng. Institute, Changchun 130021): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(1), 1996, pp. 60—62

A dynamic experiment was conducted to examine the efficiency of the fluidized biofilm method with home-made carrier for treating phenolic wastewater. The experimental results have shown that COD and phenol were removed on an average over 80% and 90%—100%, respectively, while COD volumetric loading is 4. 0 kg/(m^3·d), and the final concentrations of COD and phenol in the effluent can meet Chinese Standard of Wastewater dischange permission. The biofilm can adhere quickly to the home-made carrier and the thickness of biofilm is suitable