



# 生物接触氧化预处理技术处理微污染源水研究

张力维<sup>1</sup>,汪洁<sup>2</sup>,杨健<sup>3</sup>

(1.3 同济大学 环境科学与工程学院,上海 200433;2.上海现代华盖建筑设计有限公司,上海 200092)

**[摘要]** 饮用水水源污染的日益严重,对人类健康构成巨大威胁,给传统净水工艺提出了新的挑战。本文从目前我国水资源污染现状出发,概述了生物接触氧化法净化水质的原理、水质处理效果、主要影响因素,并结合了国内外应用情况讨论其优势和局限性。并对生物预处理技术进行了展望。

**[关键词]** 微污染源水;生物预处理;生物接触氧化;净水工艺;影响因素

**[中图分类号]** X522

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1673-1212(2005)03-034-04

## Study On Using Bio - Contact Oxidation Pretreatment Technique To Purify Micropolluted Raw Water

ZHANG Li - wei<sup>1</sup>, WANG Jie<sup>2</sup>, YANG Jian<sup>3</sup>

(1.3 Department Of Environmental Science And Engineering Tongji University, Shanghai 200433, China;

2. Shanghai Modern Huagai Architectural Designco. Ltd, Shanghai 200092, China)

**Abstract :** With the development of the industry, the drinking water resource pollution has become more serious. It endangers people's health and challenges traditional treatment process. This paper introduces the mechanism of pollutants removal in pretreating the micropolluted raw water by biological contact oxidation process and also discusses the factors influencing the biological performance. Several areas requiring further research has been identified.

**Key words :** micropolluted raw water; biological pretreatment; biological contact oxidation; water purification process; affecting factors

## 1 引言

### 1.1 我国饮用水水质现状

我国水资源人均占有量只及世界水资源人均占有量的1/4,属贫水国。而近年来,随着工农业生产的迅速发展,大量含有各种有毒、有害物质的工业废水和生活污水未经适当处理即排入天然水体,直接或间接地污染了城市的给水水源。水源的污染日益严重,氮、磷等有机物含量超标以及由此造成的水质富营养化是目前我国水污染的主要问题。加强水源保护和改进水处理工艺是提高饮用水水质,确保安全供水的两项有效措施。

微污染水源水是指受到有机物污染,部分项目的指标超过卫生标准。这类水中所含的污染物种类较多、性质较复杂,但浓度比较低。对微污染饮用水源水的处理方法,国内近期的研究热点是在保留或强化传统处理工艺的同时,还要附加生化或特种物化处理工序。习惯上把附加在传统净化工艺之前的处理工序叫预处理,把附加在传统净化工艺之后的处理工序叫深度处理。

### 1.2 微污染源水处理方法

原水中的有机污染物主要是以溶解状态存在,而传统的净水工艺主要是针对原水中的浊度和细菌而设计的,混凝、沉淀、过滤、消毒这一套常规处理工艺只能有效的去除水中的悬浮物、胶体物质、细菌等,而对大量的溶解性有机污染物无能为力。相反氯化消毒还导致对人体健康危害更大的三卤甲烷(THMs)等“三致”物质的形成,威胁着人们的饮用安全。关于三氯甲烷的致癌性研究,早在1945年Es - chenbrenner就已发现:给老鼠喂饲0.145mg/(g·d)~2.320mg/

(g·d)的剂量,4个月后老鼠出现肝癌。因此,传统净水工艺必须变革,以适应处理微污染原水的需要。

生物处理作为絮凝、沉淀、过滤等常规净水工艺的前处理,称为生物预处理。用生物预处理代替传统的预氯化处理工艺,不仅起到了相同的效果,而且避免了卤代有机物的生成。同时微生物可使原水中可被转化成细胞物质部分的有机物得到一定的去除,使水中生物同化有机碳(AOC)量为减少,有效地防止了管网水中由于具有营养物质使细菌得到繁殖使水质下降的现象。同时改善了水的混凝沉淀性能,使后续的常规处理更好地发挥作用,也减轻了常规处理和后续深度处理过程的负荷,延长了过滤或活性炭吸附等物化处理工艺的使用周期和使用容量。

目前用于水厂的生物处理工艺主要有生物滤池、生物流化床、生物活性炭、生物转盘以及生物接触氧化法。生物接触氧化法是生物预处理工艺中一种有代表性、研究较深入和应用较多的类型。本文仅就生物接触氧化预处理污染原水工艺作一介绍。

## 2 生物接触氧化法净化水质的原理

生物接触氧化法是在池内设置人工合成的填料,已经充氧的污染原水浸没全部填料,并以一定的流速流经填料,通过填料上形成的生物膜的絮凝吸附、氧化作用使水中的可生化利用的污染物基质得到降解去除。它属生物膜法的一种,主要

**[收稿日期]** 2005-03-01

**[作者简介]** 张力维(1982—),女,汉族,江西人,在读硕士研究生,研究方向为水污染控制。

由池体、填料、布水装置和曝气系统 4 部分组成。

对于微污染源水,有机物浓度不高,且存在一定量的无机碳酸盐(碱度),在曝气充氧条件下,自养型的硝化细菌和异养微生物以好氧生物膜的形式附着于填料表面上,钟虫、喇叭虫、寡毛类、枝角类和软体动物等原生动物和后生动物也栖息在生物膜上,并有蓝藻、绿藻和硅藻等多种藻类,形成一个复杂的生物群落。源水与生物膜接触时,通过微生物的新陈代谢活动和生物吸附、絮凝、氧化、硝化、合成和摄食等综合作用,使源水中氨氮、铁、锰和有机物等逐渐被氧化和转化,达到净化水质的目的。

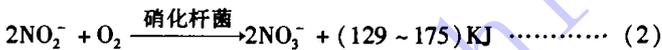
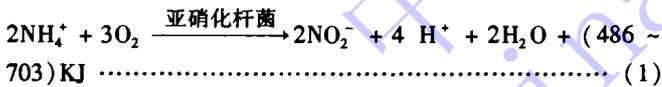
### 3 生物接触氧化预处理的除污染效果

生物接触氧化法对源水中氨氮、溶解性可生物降解有机物、铁、锰、浊度和藻类等均有较好的去除效果。

#### 3.1 氨氮和亚硝酸盐氮的处理效果

氨是微污染水处理中的主要去除对象,它在原水中以有机氮、氨、亚硝酸盐和硝酸盐的形式存在,对饮用水的安全构成一定的威胁。虽然水中存在氨对人体健康不造成直接明显的危害,但氨是自养菌繁殖的电子供体,在处理厂和配水系统中,氨氮浓度达到 0.25mg/l,供水中残余的氨会使配水管网中的硝化菌生长,而硝化菌和氨放出的有机物会造成臭味问题;氨形成氯胺也要消耗大量的氯,降低消毒效率,而且由氯生成的消毒副产物可能对人体有“三致”作用。

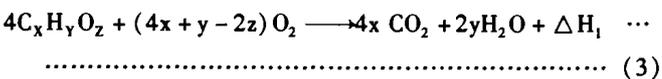
生物接触氧化池内同时存在着两种主要的生物作用:一是生物硝化作用,一是有机的生物氧化作用。在净水厂中创造富集好氧微生物的有利条件,在亚硝化杆菌和硝化杆菌的作用下进一步把微污染原水中含氮有机物硝化合成  $\text{NO}_2^-$  和  $\text{NO}_3^-$ ,最后完成有机物的无机化过程:



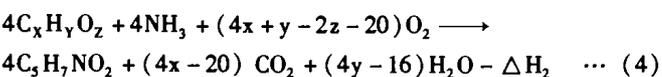
而且由于填料表面布满生物膜,内层可能由于传质不良而形成缺氧区,故存在局部反硝化的可能。

#### 3.2 可生物降解有机物的去除效果

微污染原水以一定的流速流经接触氧化池中的填料时,与填料上长满的生物膜接触,通过生物膜上微生物自身的生命活动降解去除水中可生化的有机污染物。执行有机物生物降解功能的主要是异养菌,异养菌通过氧化分解和合成作用,降解水中的有机物,对有机物的氧化分解作用而言,反应方程式为:



对细菌细胞的合成作用而言,反应方程式为:



式中  $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$  代表可生物降解的有机物,  $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$  表示微生物细胞,  $\Delta\text{H}_1$ 、 $\Delta\text{H}_2$  为反应热。由反应式可见,反应(3)

为反应(4)提供了能量,有机物充当了异养菌的碳源和能源。

### 3.3 浑浊度的去除效果

主要由于微生物的生物絮凝作用能很有效地去除水的浑浊度,生物接触氧化法可显著减少后续净水过程中的混凝剂用量,降低净水成本。

天津自来水公司对天津市自来水及其源水进行了长期检调,发现水中有机物的存在能增加无机胶粒的 Zeta 电位值,使胶粒更趋稳定。生物接触氧化工艺能有效降低有机物污染原水中胶粒的 Zeta 电位值,降低幅度达 14.4% ~ 37.2%,从而使胶粒更易于脱稳而凝聚。经过生物接触氧化预处理,原水浊度平均可去除 60% 左右,后续工艺中原水混凝所需混凝剂可节约 30% 左右。

### 3.4 铁、锰、藻类等其他物质的去除效果

污染原水中产生色度的主要物质是藻类及其腐败物,臭味的有机源包括活性的或降解的微生物、腐烂的植物及合成有机物如酚等。生物接触氧化法可去除污染原水中大部分臭味,并能去除水中 15% ~ 30% 的色度。

试验还证明生物接触氧化他对水中铁、锰和酚也有令人满意的去除效果。相关文献报道原因对铁、锰的去除机理可能是生物池中的水经曝气后含有较高的溶解氧,部分低价铁、锰被氧化成高价铁、锰而去除,另外部分被微生物吸收利用的结果。

生物接触氧化预处理可有效去除富营养水体中的藻类。生物处理除藻的机理尚待研究。一般认为生物处理除藻主要依赖于以下作用:生物膜的吸附、附着,微生物的氧化分解,原生动物等的捕食作用,脱落生物膜对藻类的生物絮凝、沉淀作用。其对藻类的去除率可达到 50% ~ 80%。

## 4 生物接触氧化预处理工艺水质净化的主要影响因素

影响生物接触氧化工艺水质净化效果的主要环境因素有水源水质、水温、pH 值(碱性)、Do、水力停留时间、气水比等,曝气方式、填料类型等也对处理效果产生影响。

### 4.1 水温

水温是影响微生物生长和生命代谢活性的主要因素,温度影响微生物酶活性,水温越低,活性越小。

据嘉兴市石白漾水厂生物接触氧化工艺水质监测资料,预处理池运行效果对水温较为敏感,当水温在 15 ~ 31℃ 时预处理池对进水水质有明显的改善作用;当水温低于 10℃ 时,除氨氮仍有 10 ~ 15% 的去除率,锰有 20% 的去除率外,其它指标无实质性的改善。对于我国南方地区,常年水温大多在 10℃ 以上。不必担心冬季低温条件下生物接触氧化法水质净化效果。

### 4.2 源水水质

通常以氨氮含量作为水污染程度的主要指标。生物接触氧化工艺去除的有机物主要是源水中溶解性可生物降解有机物。过高的有机物浓度会使生长速率较高的异养菌迅速繁殖,生长速率低得多的硝化细菌则受到抑制,使硝化速



率降低,影响了氨氮的去除率。

据宁波市梅林水厂预处理池运行结果,在常温条件下,当源水氨氮含量在 $1\sim 3\text{mg/l}$ 时处理效果最佳,氨氮去除率常达 $80\sim 90\%$ 以上;而当氨氮含量在 $3.5\text{mg/l}$ 以上时,氨氮的去除率能达到 $75\sim 85\%$ 左右。氨氮含量太低时,由于缺乏足够的营养物,微生物生长繁殖的速度缓慢,难以培养起生物膜,处理效果较差。

#### 4.3 气水比(溶解氧)

好氧生化反应中,为了使细菌生长(俗称挂膜)并起净化水质的作用,反应器应维持一定的溶解氧浓度,否则由于氧的限制会影响生化反应速度。但气水比过高会对生物膜造强烈的冲刷,造成生物膜流失,这对世代周期长的硝化细菌极为不利;另外气水比过高会增加能耗,在经济上考虑是不可取的。因此气水比(溶解氧)是生物接触氧化工艺的一个重要控制参数。

生物池曝气有两方面的作用:一是供给生物氧化所需要的氧气;二是提高池内水流紊动程度,以利污染物、生物膜和氧气的充分接触,保证传质效果。采用哪个作为控制数据需通过计算确定,取其中较大值为设计参数。国内试验和生产性应用采用气水比多数为 $0.8:1\sim 1.5:1$ 。

#### 4.4 水力停留时间(HRT)

HRT是影响污染物去除率的重要参数,过短的停留时间会造成水力冲刷太大,生物膜流失。适当延长源水停留时间,水质净化效果会相应提高。但HRT与工程造价密切相关,HRT过大会使构筑物体积及其基建费用增大;且对微污染水来说,停留时间过长可能使微生物出于内源呼吸状态,从而影响处理效果。而且停留时间短,其紊流剪切作用有助于控制生物膜厚度,改善传质。因而应根据实际情况选择合适的停留时间。

$\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的去除率随着停留时间的增加而增加,当停留时间较小时, $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 随着停留时间的增加而增加的较快,但是当停留时间增加到一定值时,再增加停留时间意义不大。一般水源水氨氮浓度在 $3.0\text{mg/l}$ 时,同济大学的研究认为HRT应取 $1.2\sim 2.0\text{h}$ 最佳。

#### 4.5 pH值

硝化反应是一个耗碱的过程,适宜的PH范围为 $7.0\sim 8.5$ ,超出其适宜范围,硝化细菌的活性便急剧下降,降低氨氮的去除效果。合肥市四水厂预处理运行结果表明:pH值大于 $8.4$ 时,氨氮的去除率急剧下降。生物预处理池进水的pH值应控制在 $6.5\sim 8.5$ 之间。

#### 4.6 填料

目前国内外生物预处理工艺都大同小异,区别之处就在于生物池内的填料。

填料作为生物接触氧化预处理工艺中微生物的载体,它首先决定了生物处理反应器内附着生长的微生物的量,在一定的水力负荷和曝气强度下,又决定了反应器内传质条件和氧的利用率,从而对工艺处理效果影响很大。填料的构造、

布置、强度、投加率、过水阻力在一定程度上决定生化池内水流状态、传质条件、氧利用率等众多因素。应根据不同水质条件、地域条件选择合适的填料。近年来开发的球形悬浮填料具有比表面积大,易挂膜,传质效果好的优点而受到人们的重视。

## 5 工程设计及应用

该工艺在我国有多个工程投入生产,证明其技术经济上是可行的。

### 5.1 工程实例

东江-深圳供水工程是向香港、深圳和东莞乡镇供应原水的跨流域大型引水工程。该工程经多年的充分研究论证决定采用生物接触氧化工艺,已于1998年投入使用。

工程设计处理规模为 $400\text{万m}^3/\text{d}$ ,设计流量为 $46.3\text{m}^3/\text{s}$ ,采用YDT弹性立体填料作为生物载体,填料占池体积的 $41\%$ 。采用穿孔曝气方式,气水比为 $0.9:1\sim 1.2:1$ 。按生物处理池 $24\text{h}$ 运行计算,流量为 $16.7\text{万m}^3/\text{h}$ 。运行结果表明,生物接触氧化工艺适宜于处理东深微污染原水,对氨氮去除率在 $75\%$ 以上,对其它 $10$ 多项水质指标也有不同程度的效果,基本达到设计要求。

宁波市梅林水厂日产水量 $4\text{万m}^3$ ,生物接触氧化预处理姚江污染源水的生产实践表明:常温条件下,氨氮去除率 $70\%\sim 95\%$ ,有机物去除率达 $20\%\sim 30\%$ ,浊度去除率 $50\%\sim 80\%$ ,藻类去除率 $78\%$ ,与传统的混凝沉淀工艺相比,对后续过滤工艺去除污染效果具有强化作用,并可节约硫酸铝 $30\%\sim 50\%$ 、液氯 $80\%\sim 85\%$ ,具有显著的经济效益,同时提高了饮用水的安全性,降低了致癌的可能性。

### 5.2 工程设计及运行关键问题

#### 5.2.1 曝气系统的设计

设计工程的曝气能否均匀非常重要。原因是均匀布气可对全池的填料产生振动作用,使得老化的生物膜始终处于更新之中。工程实际中水头损失对曝气均匀性有影响,因此设计底坡是非常重要的,特别是对于处理量较大的工程来说。

一定的气水比是保证生物预处理工艺正常运行的必要条件,所以气水比的选择十分重要。一般设计时,气水比不宜取得太低,这是因为实际生产中水质经常波动,不可能每时每刻都根据水质情况调整气水比,气水比太低,不能适应水质的变化。

#### 5.2.2 短流的问题

填料各层流速分布不均匀,可使填料的布置更有助于流速的分布,并可设置导流扰流设施,保障传质效果。

#### 5.2.3 池内积泥

池内积泥是导致源水生物预处理工程难以正常运行的重要因素。它包括池底积泥和填料积泥两种。悬浮物在填料上的积累使填料的比表面积减少,微生物数量减少,导致生物处理效果下降。

对于填料积泥小型工程可设初沉池减少积泥,而对于大



型工程可适当增大水流速度和曝气强度,以降低泥沙在填料上的截留率。且定期进行反冲洗,冲洗周期一般为1~2周1次。而对于池底积泥可设置刮吸泥装置,并可对填料进行定期检修和更换。

#### 5.2.4 水温

在北方地区,可增大生化池单位池容填料比表面积,延长处理水与生物膜有效接触时间,在一定程度上可消除水温下降引起的负效应。

#### 5.2.5 预处理设施的挂膜

一般采用自然挂膜方式,在有些情况下会加些营养物质以辅助挂膜。判别生物膜是否成熟可根据 $\text{NH}_3\text{-N}$ 或OC的去除率,当其去除率分别为75%或15%以上时,即认为挂膜成功。氨氮去除率并不是逐渐增高,而是跳跃性增长,这与硝化细菌对数增长规律是一致的。

### 6 面临的新进展

生物预处理技术正处于发展阶段,在运用填料的形式方面,各有各的说法。从多个工程实例的运行情况看来,运用弹性纤维填料有许多不足之处,其中一个就是填料的负荷过小,污染物浓度稍高一些,就会显得无能为力。所以,现在不少研究部门正致力于研究生物预处理技术的生物填料和进行工艺上的改进。如国外利用粉末活性炭去除水源水中色和嗅味物质,已取得成功的经验和较好的去除效果。国内利用粉末活性炭去除污染物正处于研究之中,目前工程应用较少。由于粉末活性炭投加后,将参与混凝沉淀过程,因此将混在混凝沉淀污染中。鉴于目前无很好的回收再生利用方法,只能作一次性使用,所以粉末活性炭作为预处理的费用相对较高,目前还难于推广应用。另外粘土特别是一种改性粘土,往往也是较好的吸附材料。其主要机理是粘土颗粒对水中有机物的吸附作用和交换作用。同时,通过投加粘土也改善和提高了后续混凝沉淀效果。

如何进一步改进填料的形式是生物预处理技术发展的一个研究思路。

### 7 结论

生物接触氧化法具有处理水量大,处理时间短,容积负荷高,对冲击负荷有较强的适应性,出水水质较稳定,污泥产率低,运行费用低等优点,对促进给水事业发展具有普遍和重大的现实意义。特别是生物接触氧化法在去除水中有机物的同时,一是能有效去除氨氮,降低其后续工艺的负荷及其需氧量;二是能使出水溶解氧接近饱和,为后续工艺的生物处理创造了良好的条件;三是出水中微生物含量会大量增加,有助于后续处理工艺中生物膜的形成及修复。其意义不

仅在于减少了处理的成本,还在于减少了消毒副产物的生成,提高了出水的安全性。

但是虽然生物接触氧化工艺能有效地去除源水中的氨氮和有机物等,但要获得安全的饮用水,还必须与传统净化工艺和深度处理方法相结合。而且生物接触氧化工艺存在运行效果影响因素多,操作管理难以规范,随意性大,出水水质的卫生安全性和工艺机理的研究不充分等局限性,这些问题尚待进一步研究和探讨。

#### 参考文献

- [1]王占生,刘文君主编.微污染源饮用水处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999
- [2]张金萍.饮用水处理技术及其发展趋势[J].甘肃环境研究与监测,1999.14.(1).45-46
- [3]Terauchi. N. Ohtani. T. Yamanaka. K. et al. Studies on a Biological Filter for Musty Odor Removal in Drinking Water Treatment Processes [J]. Water Science Technology, 1995. 31(11). 229-335
- [4]陈汉辉,孙国胜.生物接触氧化法处理微污染源水质的研究进展与应用[J].环境污染治理技术与设备,2000.1(3).55-60
- [5]肖羽堂,许建华.生物接触氧化法净化微污染原水的机理研究[J].环境科学,1999.20(3).85-88
- [6]王琳.处理中的生物预处理工艺[J].城市公用事业,2002.16(3).22-24
- [7]俞文熙,李怀正等.大型微污染源水生物接触氧化预处理工程的设计及运行[J].上海环境科学,2003.增刊.175-179
- [8]许建华,万英等.微污染源水的生物接触氧化预处理技术研究[J].同济大学学报,1995.23(4).376-381
- [9]刘辉,张玉先等.全流程生物氧化法处理微污染原水研究[J].中国给水排水,2002.18(5).18-22
- [10]杨卫权,丁卫东.上海惠南水厂生物接触预处理池的运行[J].中国给水排水,2003.19(9).100-103
- [11]夏四清,高廷耀等.受污染饮用水水源生物预处理技术[J].上海环境科学,2002.19(6).284-287
- [12]贺瑞敏,朱亮等.微污染源水处理技术现状及发展[J].陕西环境,2003.10(1).37-40
- [13]张文研,朱亮.微污染源水生物预处理氨氮去除影响因素探讨[J].中国给水排水,2002.28(11).1-3
- [14]任智勇,齐岩松等.饮用水生物预处理除氮技术[J].城市环境与城市生态,2002.15(3).54-56
- [15]张宝军,冯启言等.微污染源水处理技术的研究与发展[J].徐州建筑职业技术学院学报,2004.4(2).30-33
- [16]Lim. K. Shin. H. Operating Characteristics of Aerated Submerged Biofilm Reactors for Drinking Water Treatment [J]. Water Science Technology, 1997. 36(12). 101-109